Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes der k. k. Wiener Universität.

XI. Beiträge zur Lehre von der Festigkeit und Elasticität vegetabilischer Gewebe und Organe.

Von **Theodor v. Weinzierl.**

(Vorgelegt von Prof. Wiesner in der Sitzung am 19. Juli 1877.)

Einleitung.

Es ist in physiologischer Beziehung gewiss von grossem Interesse, die Festigkeits- und Elasticitätsverhältnisse pflanzlicher Organe und Gewebe genauer kennen zu lernen, weil sie nicht nur die Grundlage für die Kenntniss und richtige Auffassung der mechanischen Eigenschaften der Pflanzentheile, z. B. des Bastes, des Holzes etc. bilden, sondern auch desshalb, weil eine Reihe von wichtigen, die Baumechanik der Gewächse betreffenden Fragen auf diese Weise zur Lösung gelangen kann.

Allein, abgesehen von dem so ausgezeichneten Werke S. Schwendener's,[1] auf das ich später noch ausführlicher zu sprechen kommen werde, sind bis in die jüngste Zeit nur wenige von den zahlreichen Arbeiten über diesen Gegenstand von physiologischem Werthe, denn die meisten beziehen sich nur auf die Kenntniss von den technischen Eigenschaften der Hölzer und Fasern.

Die Untersuchungen von Du Hamel[2] können wir als die ersten über die physikalischen Eigenschaften der Holzgewächse

[1] S. Schwendener: Das mechanische Princip im anatomischen Baue der Monocotylen, Leipzig 1874.

[2] Physique des arbres, 1758 und de l'Exploitation des bois, 1764.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

bezeichnen, auch enthalten sie schon Angaben über die Festigkeit wasserhaltiger und trockener Hölzer.

Später wurde von Charles Dupin[1] die Frage über die Festigkeit und Elasticität wieder bearbeitet und zwar fand der genannte Forscher durch unmittelbare Versuche eine Beziehung zwischen der Elasticität und dem specifischen Gewichte der Hölzer, wonach die schwersten Hölzer auch die am biegsamsten sein sollen. Eine genaue Bestimmung jedoch sowohl der Elasticität als auch der absoluten Festigkeit enthalten diese Untersuchungen nicht.

Ausser den Arbeiten über die Hölzer, welche eigentlich den grössten Theil der Literatur über diesen Gegenstand bilden, seien hier noch die Versuche über die Festigkeit und Elasticität vegetabilischer Fasern erwähnt, welche von Roxburgh[2] und Labillardière[3] ausgeführt wurden, von denen jedoch nur die des letzteren brauchbar sind, weil sich die Angaben Roxburgh's nur auf Seile beziehen. Eine Zusammenstellung der älteren Arbeiten in dieser Richtung hin findet sich bei Fechner,[4] über die neueren bei Nördlinger,[5] woselbst auch einige vom Autor selbst ausgeführte Experimente über die Festigkeit und Elasticität der Hölzer namhaft gemacht werden.

Die grösste Bedeutung für die Erkenntniss der mechanischen Eigenschaften der Pflanze hat unstreitig das epochemachende Werk Schwendener's, in welchem der Autor vom streng physikalischen Standpunkte ausgehend die Principien der Baumechanik auf die Pflanze anwendet und auf diese Weise eine grössere Klarheit in die Auffassung gewisser anatomischer Begriffe hineinbringt, als es bisher gethan wurde.

Der Verfasser stellt sich zuerst die Frage, ob im Gewebe der Gefässpflanzen auch bestimmte Elementarorgane vorhanden

---

[1] Charles Dupin: Expériences sur la force, la flexibilité et l'elasticité des bois. Paris 1813.

[2] In: Technical Repository, 1824.

[3] In: Annales du Museum d'hist. natur. II, pag. 474—484.

[4] Resultate der bis jetzt unternommenen Pflanzenanalysen. 1829. Vergl. Schuhmacher's Physik der Pflanze.

[5] Nördlinger: Die technischen Eigenschaften der Hölzer. 1860.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

sind, welche eine rein mechanische Function zu vollführen haben, besitzen, und welche, gleichwie die Organe des trachealen Systemes der Durchlüftung, andere wieder der Assimilation und Wasserleitung dienen, zur Herstellung der erforderlichen Festigkeit in der Pflanze bestimmt sind.

Seine Untersuchungen führten zur Bejahung dieser Frage. Zu den sogenannten specifisch-mechanischen Zellen rechnet Schwendener aber nicht allein die Bastzellen und bastähnlichen Collenchymzellen, sondern auch Elemente des Holztheiles, welche in manchen Fällen eine eben so grosse Widerstandsfähigkeit besitzen als die Bastzellen.

Die mechanischen Zellen des Collenchyms modelliren sich, wie sich Schwendener ausdrückt, aus dem Parenchym heraus und sind vom collenchymatisch verdickten Parenchym kaum zu unterscheiden. Im jugendlichen noch parenchymatischen Zustande entfalten diese Zellen eine ausschliesslich assimilatorische Thätigkeit und je mehr ihre Form den prosenchymatischen Charakter annimmt, das Chlorophyll spärlicher wird, und endlich ganz verschwindet, ferner ihre Poren spaltenförmig und dabei longitudinal oder schwach schief gestellt erscheinen, hat die mechanische Function das Übergewicht über die assimilatorische.

Schwendener erklärt auch die oft so mächtigen und an verschiedenen Stellen des Blatt- und Stammquerschnittes gewisser Pflanzen auftretenden Bastanlagen, indem er darauf aufmerksam macht, dass die Bastzellen oder die Elemente des mechanischen Systemes vorzugsweise dort mächtig entwickelt sind, wo die Pflanze in hohem Grade auf Festigkeit in Anspruch genommen wird.[1]

In der vorliegenden Arbeit setzte ich nicht nur einige von Schwendener begonnene Versuche fort, sondern versuchte auch noch einige, wie mir scheint, physiologisch interessante

---

[1] Jüngst hat Prof. Dr. H. Leitgeb in Graz in einem Vortrage die Untersuchungen Schwendener's in schöner und geistvoller Darstellung und mit Beziehung auf das Darwin'sche Princip der Anpassung zusammengefasst. Da jedoch die in dieser Arbeit ausgesprochenen Ideen keinerlei Anknüpfungspunkte bieten für die von mir angestrebten Ziele, so habe ich sie hier auch keiner eingehenderen Besprechung unterzogen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Fragen zu bearbeiten, welche die Zugfestigkeit und Elasticität verschiedener vegetabilischer Gewebe betreffen.

Die vorliegende Abhandlung bitte ich jedoch nur als einen kleinen Beitrag zur Lehre von der Festigkeit und Elasticität der vegetabilischen Organe und Gewebe anzusehen, welche bloss einige Lücken in der Kenntniss der mechanischen Eigenschaften der Pflanze ausfüllen soll.

I. Capitel.

Prüfung der absoluten Festigkeit und Elasticität lebender und todter (trockener) Pflanzentheile.

Obgleich es a priori schon nahe zu liegen scheint, dass die Verschiedenheit der lebenden und todten Pflanzentheile auch in ihren mechanischen Eigenschaften zum Ausdrucke kommen dürfte, und sich vielleicht in der verschiedenen Festigkeit und Elasticität lebender und todter Organe kund gibt, so ist doch dieser Unterschied bisher noch nicht Gegenstand einer genaueren Untersuchung gewesen.

Man beschäftigte sich bisher allerdings zu wiederholten Malen mit der Frage nach der Festigkeit und Elasticität todter, beziehungsweise trockener Pflanzentheile, wie z. B. der Hölzer und Fasern, jedoch wurden diese Versuche nicht immer mit der erforderlichen physikalischen Exactheit ausgeführt und auch nicht im Vergleiche mit den frischen noch lebenden Vegetationsorganen in Bezug auf ihre mechanische Leistungsfähigkeit eingehender abgehandelt.

Wenn auch die ersten Versuche, welche von Muschenbröck und Buffon[1] über den Einfluss des Wassergehaltes auf die Festigkeit von Hölzern angestellt wurden, zu unrichtigen Resultaten geführt haben, so sind sie in physiologischer Beziehung doch in soferne nicht ohne Belang, weil sie zur weiteren Ausarbeitung einer gewiss sehr wichtigen und interessanten Frage Anregung gegeben haben.

---

[1] Vergl. Nördlinger, l. c. pag. 386.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zuerst widerlegte Du Hamel[1] die Anschauung der genannten Forscher, dass die Feuchtigkeit grüner Hölzer diesen eine grössere Festigkeit verleihe, indem er aufmerksam machte, dass durch die Saftfeuchtigkeit die Holzstücke von selbst einschlagen und auf der gekrümmten Seite etwas gedehnt und dadurch geschwächt werden.

Von nicht geringer Bedeutung für diese Frage sind auch die Versuche von Boucherie,[2] welcher zum ersten Male experimentell den Nachweis lieferte, dass vollständig trockenes Holz eine viel geringere Elasticität besitzt als solches, welches hygroskopische Feuchtigkeit in einiger Menge enthält.

Er imprägnirte einen Fichtenstamm mit Chlorcalciumlösung und schnitt daraus Bretter von circa 2—3 Millimeter Dicke. Die Bretter, welche in Folge der hygroskopischen Eigenschaften des Chlorcalcium sich frisch erhielten, konnten stark gebogen werden, ohne wie gleich dicke Bretter von nicht imprägnirten Fichten zu zerbrechen und nach Aufhören der biegenden Kraft gingen sie sofort wieder in ihre ursprüngliche Form zurück.

Diese Versuche beziehen sich eigentlich nur auf die relative Festigkeit und sind erst später durch Chevandier und Wertheim[3] auch auf die absolute Festigkeit ausgedehnt worden. Es wurde hier auch die Frage von der Beziehung des Wassergehaltes des Holzes zur Festigkeit und Elasticität einer endgiltigen richtigen Lösung zugeführt und durch directe Versuche nachgewiesen, dass die Festigkeit mit dem abnehmenden Wassergehalte des Holzes wächst, während die Elasticität immer kleiner wird.

Die unmittelbare Anregung jedoch zur vorliegenden Fragestellung gaben einige von Schwendener begonnene Versuche über die Festigkeit des todten Bastes und der Vergleich mit dem lebenden noch frischen Gewebe.

---

[1] Conservation, pag. 264. Vergl. Nördlinger: Technische Eigenschaft des Holzes, pag. 386.

[2] Vergl. Boussingault: Die Landwirthschaft, 1851, Bd. 1; nach: Annales de chimie et physique. 2. Ser.. Tab. 74, pag. 134.

[3] Mémoire sur les propriétés mecan. des bois. Tab. IX.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

„Der trockene Bast", sagt Schwendener,[1] „scheint zwar im Allgemeinen übereinstimmende Elasticitätsverhältnisse darzubieten (wie der frische), doch hat das Austrocknen in jedem Falle einen gewissen Einfluss auf die Cohäsion, den ich hier nicht näher verfolgen will. Beispielsweise führe ich nur an, dass die Längenzunahme von 5·6—6 Mm., welche ich an einem 5 Mm. breiten und 430 Mm. langen Streifen von *Phormium tenax* bei 10 Kilo beobachtete, am andern Tage noch 3·5 Mm., am dritten nur noch 3·3 Mm. betrug. 15 Kilo Belastung bewirkten jetzt eine Verlängerung von 5 Mm. bei vollkommener Elasticität. Hiernach würde das Tragvermögen pro Quadratmillimeter auf nahezu 24 Kilo anzuschlagen sein. Das Austrocknen dieses Riemens fand im eingespannten Zustande statt. — Auch die Pincette war daran hängen geblieben. Die Länge des nicht belasteten Riemens war nach wie vor dieselbe geblieben. Ferner mag noch erwähnt werden, dass der käufliche Lindenbast im trockenen Zustande ähnliche Ergebnisse lieferte. Ich beobachtete z. B. eine Verlängerung von 12 auf 1000 und ein Tragvermögen, das sich mindestens auf 20 Kilo pro Quadratmillimeter berechnet."

Weitere Versuche in dieser Richtung wurden von Schwendener nicht ausgeführt. Allein es geht schon aus diesen zwei Versuchen hervor, was ich durch meine Untersuchungen bestätigen musste, dass das trockene Gewebe eine grössere Festigkeit, aber eine geringere Elasticität besitzt als das frische.

Die Methode, nach der ich meine Versuche ausführte, war im Wesentlichen nicht viel verschieden von der, welche Schwendener anwendete.

Die Bestimmung der Zugfestigkeit wurde mittelst eines eigens zu diesem Zwecke angefertigten Zerreissapparates[2] vorgenommen, der aus einem rechteckigen massiven Holzgerüste bestand, auf dessen oberster Seite eine Messingklemme frei beweglich aufgehängt werden konnte, in welche der betreffende

[1] l. c. pag. 15.

[2] Nach Angaben Prof. Wiesner's vom Mechaniker des physikalischen Institutes der k. k. Wiener Universität angefertigt, und Eigenthum des pflanzenphysiologischen Institutes.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

zu untersuchende Pflanzentheil eingeschraubt und am unteren Ende durch eine zweite Klemme gespannt und in verticaler Richtung belastet wurde. Es geschah dies durch Auflegen von Gewichten auf eine in die untere Klemme einhängbare Wagschale.

An der rechten Seite des Gerüstes war ein in Millimeter getheilter Massstab angebracht, auf den ein mit einem horizontal gestellten Zeiger vertical beweglicher Schieber die jeweilige Länge und Verlängerung des Riemens bezeichnete.

Als Mass der absoluten Festigkeit habe ich bei allen Versuchen dasjenige Gewicht, ausgedrückt in Kilogrammen, angenommen, welches das Zerreissen eines Riemens vom Querschnitte eines Quadratmillimeters hervorbrachte. Es ist das der in den folgenden Versuchen immer mit F bezeichnete Festigkeitsmodul.

Die Tragkraft pro Quadratmillimeter oder der Tragmodul (immer mit T bezeichnet) wurde bestimmt durch das Gewicht, welches den Riemen von 1 Quadratmillimeter Querschnitt bis zur Elasticitätsgrenze auszudehnen im Stande war. Die letztere Grösse konnte jedoch nicht mit grosser Genauigkeit experimentell bestimmt werden, weil mir nicht immer die Länge von 1 Meter zur Verfügung stand, ich glaubte indess keinen grossen Fehler begangen zu haben, wenn ich die bleibende Verlängerung von 0·5 Mm. des untersuchten Riemens auf die Länge von 1 Meter umrechnete.

Überhaupt habe ich ausserdem stets noch den Elasticitätsmodul berechnet, welcher allein zum Vergleiche der Resultate bezüglich der Elasticität genügen würde.

Ich benützte hiezu die Formel $E = \frac{P \times L}{v}$ ausgedrückt in Kilogramm-Millimetern, worin P die Belastung, L die Länge und v die Verlängerung des Riemens bedeuten.

Der Querschnitt des Riemens ist jedoch nicht als der für die Festigkeit massgebende aufzufassen, denn nicht alle Gewebselemente haben nach Schwendener gleichen Einfluss auf die Festigkeit und ich habe desshalb immer nur den Querschnitt oder die Oberfläche der specifisch-mechanischen Zellen als die effectiv belastete Querschnittsfläche angenommen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei der Ermittlung derselben ging ich auf folgende Weise vor. Ich brachte feine Querschnitte durch ein Fragment des untersuchten Riemens unter das Mikroskop, und zeichnete mittelst der Camera lucida die betreffenden Elemente des mechanischen Systems (z. B. Oberfläche der Bastbelege) auf ein in Quadratmillimeter getheiltes Papier heraus, bestimmte durch genaues Abzählen der Quadratmillimeter die Fläche, dividirte die Summe der einzelnen Oberflächen durch das Quadrat der Vergrösserung und erhielt somit den wahren belasteten Querschnitt der specifisch mechanischen Zellen.

Um aber die Beziehungen des Wassergehaltes zur Festigkeit und Elasticität des betreffenden Organes oder Gewebes finden zu können, musste bei jedem Versuche auch nebenher der Wassergehalt des Riemens bestimmt werden, und es ist derselbe auch bei allen folgenden Versuchen in Procenten angegeben.

Zu allen Versuchen wurden nur gesunde, normal entwickelte grüne Pflanzen verwendet und dafür Sorge getragen, dass gleich nach dem Abschneiden des Blattes dasselbe zum Versuche verwendet wurde, um so genau als möglich noch bei dem Wassergehalte der lebenden Pflanze experimentiren zu können. Auf das Alter der Blätter wurde vorläufig keine genauere Rücksicht genommen, jedoch habe ich ziemlich gleichalterige Organe zum Versuche gewählt, um die Resultate vergleichbar machen zu können.

Es folgen nun die einzelnen Versuche, aus denen die Methoden der Untersuchung noch klarer hervortreten werden.

I. Blatt von ***Dracaena indivisa*** Forst. im frischen Zustande.

Wassergehalt = 40%.

Riemen aus der Mitte des Blattes.

1. Versuch.

Länge = 218 Millimeter.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei 1 Kilo Belastung erfolgte eine Verlängerung von 0·5 Mm.
„ 2 „ „ „ „ „ „ 1 „
„ 3 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 4 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 5 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 6 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 7·5 „ „ „ „ „ „ 0·5[1] „
„ 8 „ „ „ „ „ „ 0 „
„ 9 „ „ gerissen.

Totalverlängerung = 4 Mm.

Totalbelastung = 9 Kilo + dem Gewichte der Wagschale + Klemme

Gewicht der Wagschale = 0·539 Kilo
„ „ Klemme = 0·0724 „
Summe = 0·6114 Kilo.

daher $P = 9 \cdot 6114$ Kilogramm, wenn P die Totalbelastung bezeichnet.

Bestimmung des Querschnittes der mechanischen Zellen: Bei 120maliger linearer Vergrösserung zeigte der Querschnitt 6 Gefässbündel mit mächtigen Bastbelegen, die Lumina der Bastzellen waren in Bezug auf die Dicke der Membran verschwindend klein und kommen desshalb nicht in Abrechnung.

Die Fläche der Bastbelege betrug 6278·4 Quadratmillimeter und in wahrer Grösse = 0·436 Quadratmillimeter, woraus sich bei einer Totalbelastung von 9·6114 Kilogramm ein Festigkeitsmodul von 22 Kilo und bei einer approximativen Elasticitätsgrenze von 7·5 Kilogramm ein Tragmodul = 17 Kilo berechnen. Der Elasticitätsmodul beträgt somit 1200 Kilogramm - Millimeter. Ein

2. Versuch

mit einem Riemen desselben Blattes und bei demselben Wassergehalte ergab für eine Länge von 286 Millimetern und einer Fläche der mechanischen Zellen = 0·4 Quadratmillimeter; ferner bei einem Zerreissgewichte = 8·61 Kilo $F = 21 \cdot 5$ Kilo bei einer Elasticitätsgrenze = 6·9 Kilo, $T = 17 \cdot 35$ Kilo; der Elasticitäts-

[1] Bleibende Verlängerung.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

modul $E = 1230$ bei einer Totalverlängerung von 5 Millimetern. Der

3. Versuch

für eine Länge = 180 Millimeter, eine Fläche der mechanischen Zellen = 0·45 Quadratmillimeter ein Zerreissgewicht = 9·14 Kilo ergab $F = 22$ Kilo und bei einer Elasticitätsgrenze = 7·65 Kilo $F = 17$ Kilo; der Elasticitätsmodul berechnet sich auf 1210 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung = 3·1 Millimeter. Das arithmetische Mittel aus diesen Beobachtungen ergibt für das frische Blatt von *Dracaena indivisa* ein Festigkeitsmodul = 21·83, also nahezu 22 Kilogramm, einen Tragmodul = 17 Kilogramm und ein Elasticitätsmodul = 1213 Kilogramm. Die Verlängerung betrug 17 auf 1000.

Um den Unterschied des frischen und trockenen Blattes in Bezug auf Festigkeit und Elasticität beurtheilen zu können, schliesse ich die Versuche mit dem trockenen Riemen hier an.

II. Blatt von ***Dracaena indivisa*** Forst. trocken.

Wassergehalt = 15% .

1. Versuch.

Riemen aus der Mitte des Blattes.

Länge = 128 Millimeter.

Bei 1	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·0	Mm.
„ 2	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 3	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 4	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 5	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 6	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 7	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 7·7	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 7·9	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 8	„	„	gerissen.					

Totalverlängerung = 2 Mm.

Totalbelastung = 8·6114 Kilogramm.

Die Fläche der mechanischen Zellen des Querschnittes betrug bei 130maliger linearer Vergrösserung 5712·2 Quadrat-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

millimeter und in wahrer Grösse 0·338 Quadratmillimeter, woraus bei einer Totalbelastung von 8·6114 Kilo sich ein Festigkeitsmodul = 25·5 Kilo und bei einer Elasticitätsgrösse = 7 Kilo ein Tragmodul von 20 Kilo sich berechnen, während der Elasticitätsmodul die Zahl 1630 erreichte. Ein

2. Versuch.

ergab für eine Länge = 130 Millimeter und Totalbelastung = 8·943 Kilo, $F = 26$ Kilogramm, $T = 20$ Kilo und $E = 1670$ bei einer Verlängerung von 2·5 Millimeter.

3. Versuch.

Für eine Länge von 200 Millimeter und Zerreissgewicht = 9·12 Kilo, berechnet sich $F = 25$ Kilo und bei einer Grenze = 6·8 Kilo, $T = 20·5$ Kilo und bei einer Totalverlängerung von 2·65 Millimeter, $E = 1680$ Kilogramm-Millimeter.

Das Mittel aus diesen 3 Beobachtungen gibt für das trockene Blatt von *Dracaena indivisa* $F = 25·5$ Kilo, $T = 20$ Kilogramm, $E = 1677·6$ Kilo und eine Verlängerung von 12 auf 1000.

III. Blatt von ***Dasylirion longifolium*** im frischen Zustande.

Wassergehalt = 45%.

1. Versuch.

Riemen aus der Mitte des Blattes.
Länge = 202 Millimeter.

Bei 1 Kilogr. Belastung erfolgte eine Verlängerung von 0·0 Mm.
„ 2 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 3 „ „ „ „ „ „ 1 „
„ 4 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 4·5 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 5 „ gerissen.

Totalverlängerung = 2·5 Mm.

Totalbelastung = 5·6114 Kilogramm.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Der Querschnitt zeigte bei 130maliger linearer Vergrösserung 6 Gefässbündel mit mächtigen Bastbelegen von der Durchschnittsfläche = 3887 Quadratmillimeter oder in wahrer Grösse = 0·23 Quadratmillimeter. Bei dem beobachteten Zerreissgewichte von 5·6114 Kilogramm, berechnet sich ein Festigkeitsmodul von 21·5 Kilo und bei einer Elasticitätsgrenze von 3 Kilogramm ein Tragmodul von 17 Kilogramm und ein Elasticitätsmodul von 1700 Kilogramm-Millimeter. Der

2. Versuch

mit einem Riemen aus demselben Blatte und bei demselben Wassergehalte ergab für eine Länge = 157 Millimeter, eine Totalbelastung von 4·6114 Kilogramm, einer Querschnittsfläche des Bastes = 0·2116 Quadratmillimeter, ein Festigkeitsmodul = 21·8 Kilo, und bei einer Elasticitätsgrenze = 3·78 Kilogramm ein Tragmodul = 18 Kilo und ein Elasticitätsmodul = 1720 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 2·5 Millimeter.

3. Versuch.

Die Länge des Riemens betrug 206 Millimeter, das Zerreissgewicht 6·5026 Kilo; der Querschnitt der mechanischen Zellen = 0·302 Quadratmillimeter, hieraus berechnet sich ein Festigkeitsmodul = 17·5 Kilogramm und bei einer Verlängerung = 2·6 Millimeter ein Elasticitätsmodul = 1710 Kilogramm - Millimeter.

Das arithmetische Mittel aus diesen Resultaten genommen zeigt für das frische lebende Blatt von *Dasylirion longifolium* ein Festigkeitsmodul = 21·6 Kilo, ein Tragmodul = 17·82 Kilo und ein Elasticitätsmodul = 1710 Kilogramm-Millimeter. Die Verlängerung auf 1000 betrug 13·3.

Nach diesen Angaben stellt sich also die Festigkeit, beziehungsweise die Tragkraft von *Dasylirion* und *Dracaena* ziemlich gleich heraus, obgleich *Dasylirion* eine grosse Festigkeit zu besitzen scheint.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

IV. Blatt von ***Dasylirion longifolium*** im trockenen Zustande.

Riemen aus der Mitte des Blattes; Wassergehalt = 11% .

1. Versuch.

Länge = 271 Millimeter.

Bei 1 Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·—	Mm.
„ 2	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 3	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 4	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 5	„	„	„	„	„	0·—	„
„ 6	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 7	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 8	„	„	gerissen.				

Totalverlängerung = 2·5 Mm.

Totalbelastung = 8·6026 Kilogr.

Die Fläche der mechanischen Zellen betrug bei 130maliger linearer Vergrösserung 5374 Quadratmillimeter und in wahrer Grösse = 0·318 Quadratmillimeter, woraus bei der Totalbelastung = 8·6026 Kilo ein Festigkeitsmodul von 27 Kilo und bei 3 Kilogramm Elasticitätsgrenze ein Tragmodul von 23 Kilogramm sich berechnen. Der Modulus der Elasticität beträgt somit 2439 Kilogramm-Millimeter.

2. Versuch.

Die Länge des Riemens war 216 Millimeter und bei 7·6114 Kilogramm erfolgte das Zerreissen. Die Fläche der mechanischen Zellen betrug in wahrer Grösse 0·3 Quadratmillimeter, woraus sich ein Festigkeitsmodul von 26·5 Kilo und bei einer Elasticitätsgrenze von 6 Kilo ein Tragmodul von 23 Kilo ergeben. Der Elasticitätmodul betrug 2439·5 bei einer Verlängerung von 2 Millimetern.

3. Versuch.

Ein Riemen von 220 Millimeter Länge und einem Querschnitt der mechanischen Zellen von 0·28 Quadratmillimeter zeigte bei einem Zerreissgewicht von 7·81 Kilo ein Festigkeitsmodul von 26·7 Kilo und bei einer Elasticitätsgrenze = 6 Kilogramm ein Trag-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

modul von 23·5 Kilo. Bei der Verlängerung von 2·5 Millimeter ein Elasticitätsmodul = 2430 Kilogramm-Millimeter.

Das Mittel aus diesen Bestimmungen ergibt somit für das trockene Blatt von *Dasylirion longifolium* ein Festigkeitsmodul = 26·73 Kilo, ein Tragmodul = 23·16 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul = 2436 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 104 auf 1000. Also eine bedeutend geringere Elasticität, wohl aber eine grössere Festigkeit als im frischen Zustande.

V. Blatt von *Phormium tenax* im frischen Zustande.

Riemen aus der Mitte der Blätter; Wassergehalt = 45%.

1. Versuch.

Länge = 290 Millimeter.

Bei	1	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·5 Mm.
„	2	„	„	„	„	„	0·5	„
„	3	„	„	„	„	„	0·5	„
„	4	„	„	„	„	„	0·—	„
„	5	„	„	„	„	„	0·5	„
„	6	„	„	„	„	„	0·—	„
„	8	„	„	„	„	„	0·5	„
„	10	„	„	„	„	„	1·—	„
„	11	„	„	„	„	„	0·—	„
„	12	„	„	„	„	„	0·—	„
„	12·2	„	„	gerissen.				

Totalverlängerung = 3·5 Mm.

Totalbelastung = 12·8114 Kilogr.

Der Querschnitt zeigte sehr stark verdickte Bastzellen und sehr kleine Lumina, die Fläche der Bastzellen betrug im Durchschnitte 0·51 Quadratmillimeter, wesshalb sich ein Festigkeitsmodul von 25·13 Kilogramm und ein Tragmodul = 20·5 berechnen. Der Elasticitätsmodul betrug 1527 Kilogramm-Millimeter.

2. Versuch.

Für eine Länge von 390 Millimetern einem Querschnitt der mechanischen Zellen = 0·41 Quadratmillimeter ergab sich ein

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Festigkeitsmodul = von 25·5 Kilo, bei einem Zerreissgewichte von 10·455 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul = 1540 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 13 auf 1000.

3. Versuch.

Ein Riemen von 370 Millimeter Länge und einer Querschnittsfläche des Bastes = 0·4 Quadratmillimeter einem Zerreissgewichte von 10·5 Kilogramm ergab ein Festigkeitsmodul = 25·6 Kilo, ein Tragmodul = 20·5, ein Elasticitätsmodul = 1540·5 Kilogramm - Millimeter und eine Verlängerung von 13 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Werthen zeigt also ein Festigkeitsmodul von 25·41 Kilo, ein Tragmodul = 20·33 Kilo und ein Elasticitätsmodul = 1536 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 13 auf 1000.

VI. Blatt von *Phormium tenax* im trockenen Zustande.

Riemen aus der Mitte des Blattes; Wassergehalt = 13%.

1. Versuch.

Länge = 304·4 Millimeter.

Bei	1	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·5 Mm.
„	2	„	„	„	„	„	„	0·0 „
„	3	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	4	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	5	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	6	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	7	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	8	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	10	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	11	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	13	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	14	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	14·025	„	riss der Riemen entzwei.					

Verlängerung = 3·5 Mm.

Totalbelastung = 14·025 Kilogr.

Download from The Biodiversity-Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die Querschnittsfläche der Bastzellen betrug in wahrer Grösse 0·51 Quadratmillimeter; daher berechnet sich $F = 27·5$ Kilogramm, $T = 24$ Kilogramm und bei einer Verlängerung von 3·5 Millimeter, $E = 2100$ Kilogramm-Millimeter, die Verlängerung auf 1000 betrug 11·5.

2. Versuch.

Ein Riemen von derselben Länge und demselben Wassergehalte zeigte eine Querschnittsfläche des Bastes von 0·43 Quadratmillimeter und zerriss bei einem Gewichte von 11·61 Kilogramm; hieraus berechnen sich $F = 27$ Kilo, $T = 24·2$ Kilo und $E = 2150$ Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 12 auf 1000.

3. Versuch.

Länge des Riemens 320 Millimeter; Querschnittsfläche des Bastes = 0·371 Quadratmillimeter, Zerreissgewicht = 10·017 Kilo; hieraus $F = 27$ Kilo, $T = 24$ Kilo, $E = 2120$ und eine Verlängerung von 10·5 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Bestimmungen ergibt somit für den trockenen Riemen aus dem Blatte von *Phormium tenax* $F = 27$ Kilo, $T = 24$ Kilogramm, $E = 2123$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 11·3 auf 1000.

VII. Blatt von ***Hyacinthus orientalis*** im frischen Zustande.

Wassergehalt = 90%.

1. Versuch.

Länge des Riemens = 120 Millimeter.

Bei	0·16	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	1·— Mm.
„	0·3	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·5	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·7	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·9	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·23	„	„	„	„	„	1·—	„
„	1·30	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·4	„	„	„	„	„	1·—	„
„	1·45	„	„	„	„	„	0·1	„
„	1·5	„	zerriss der Riemen	. . . . .			0·—	„
Totalbelastung = 1·5 Kilogr.						Verlängerung = 5·6 Mm.		

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die mikroskopische Betrachtung des Querschnittes zeigte die überraschende Thatsache, dass die specifisch-mechanischen Zellen in diesem Falle eine sehr geringe Mächtigkeit besitzen, trotzdem das Zerreissgewicht in Bezug auf den grossen Wassergehalt ein relativ hohes war.

Ich bemerkte dagegen ziemlich stark verdickte und mächtig entwickelte Epidermiszellen, welche mich auf die Vermuthung führten, dass vielleicht in diesem Falle auch diese Zellen eine mechanische Leistung zu vollführen haben, wesshalb ich, wie im zweiten Abschnitte abgehandelt wird, über diesen Gegenstand Untersuchungen angestellt habe.

Hier sei nur die Thatsache erwähnt und ich habe auch bei der Bestimmung der Festigkeit vorläufig nur die Querschnittsfläche des Bastes allein in Rechnung gezogen.

Die Fläche des Bastes betrug in wahrer Grösse 0·09 Quadratmillimeter, woraus sich folgende Werthe berechnen: $F = 16{\cdot}51$ Kilo und bei einer Elasticitätsgrenze $= 1{\cdot}107$ Kilogramm, $T = 12{\cdot}3$ Kilogramm, $E = 330{\cdot}2$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 50 auf 1000. Ein

2. Versuch

ergab $F = 16{\cdot}3$ Kilogramm, $T = 12{\cdot}5$ Kilo, $E = 331{\cdot}02$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 49·5 auf 1000. Der

3. Versuch

bei einem Zerreissgewichte von 1·296 Kilogramm und einer Querschnittfläche des Bastes = 0·081 Quadratmillimeter, $F =$ 16 Kilogramm, $T = 12$ Kilogramm, $E = 330$ und eine Verlängerung von 50·5 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Versuchen zeigt also für das frische Blatt von *Hyacinthus orientalis*, entsprechend der sehr kleinen Querschnittsfläche der mechanischen Zellen, die grossen Werthe für $F = 16{\cdot}27$ Kilogramm und $T = 12{\cdot}27$ Kilogramm, $E =$ 330·41 Kilogramm-Millimeter und die Verlängerung auf 1000 betrug 50.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

VIII. Blatt von ***Hyacinthus orientalis*** trocken.

Wassergehalt = 25%.

1. Versuch.

Länge des Riemens = 135 Millimeter.

Bei 0·1	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·0	Mm.
„ 0·4	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 0·7	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 1·1	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 1·4	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 1·5	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 1·8	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 1·9	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 2·0	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 2·1	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 2·15	„	„	„	„	„	„	0·0	„
„ 2·2	„	zerriss der Riemen.						

Totalbelastung = 2·2 Kilogr. Verlängerung = 2·5 Mm.

Der Querschnitt zeigte 2 Gefässbündel mit sehr schwachen Bastbelegen von der Querschnittsfläche = 0·113 Quadratmillimeter; hieraus berechnen sich folgende Werthe: $F = 20{\cdot}3$ Kilogramm, $T = 17{\cdot}1$ Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 1·93 Kilogramm, ferner $E = 1345$ Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 20 auf 1000. Ein

2. Versuch

ergab für einen Querschnitt des Bastes = 0·072 Quadratmillimeter, $F = 20$ Kilogramm, $T = 17{\cdot}52$ Kilo, ferner $E = 1340{\cdot}5$ und eine Verlängerung von 19·81 auf 1000.

3. Versuch

lieferte bei einer Querschnittsfläche des Bastes von 0·14 Quadratmillimeter, $F = 19{\cdot}78$ Kilo, $T = 17{\cdot}52$ Kilo, ferner $E = 1340$ und eine Verlängerung von 20·2 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen 3 Beobachtungen gibt für das trockene *Hyacinthus*-Blatt: $F = 20{\cdot}027$ Kilogramm,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

$T = 17{\cdot}54$ Kilogramm, $E = 1341{\cdot}83$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 20 auf 1000.

IX. Blatt von ***Allium Porrum*** im frischen Zustande.

Wassergehalt = 82%.

Länge des Riemens = 160 Millimeter.

1. Versuch.

Bei	0·02	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·5 Mm.
„	0·05	„	„	„	„	„	1·5	„
„	0·07	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·09	„	„	„	„	„	1·	„
„	0·10	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·15	„	„	„	„	„	0·	„
„	0·18	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·20	„	„	„	„	„	0·	„
„	0·28	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·3	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·35	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·45	„	riss der Riemen entzwei.					

Totalbelastung = 0·453 Kilogr. Verlängerung = 6· Mm.

Bei 300maliger linearer Vergrösserung zeigte der Querschnitt 2 Gefässbündel mit ebenfalls sehr schwach entwickeltem Bast; die Querschnittsfläche betrug in wahrer Grösse = 0·025 Quadratmillimeter. Es berechnen sich desshalb: $F = 18$ Kilogramm, T 15·23 Kilo bei einer Elasticitätsgrenze von 0·375 Kilogramm, ferner $E = 480$ Kilogramm-Millimeter. Die Verlängerung betrug 38 auf 1000.

2. Versuch.

Für eine Länge von 160 Millimeter, ein Zerreissgewicht von 1·26 Kilo und eine Querschnittsfläche des Bastes = 0·072 Quadratmillimeter berechnet sich $F = 17{\cdot}5$ Kilo, und bei einer Elasticitätsgrenze von 1·029 Kilo, $T = 14{\cdot}7$ Kilogramm, ferner bei einer Verlängerung von 6 Millimetern $E = 466$ Kilogramm-Millimeter.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. Versuch.

Ein Riemen von derselben Länge und demselben Wassergehalte wie in den zwei vorhergehenden Versuchen ergab für eine Querschnittsfläche der mechanischen Zellen von 0·045 Quadratmillimeter und bei einem Zerreissgewichte von 0·765 Kilo $F = 17$ Kilogramm, bei einer Elasticitätsgrenze von 0·63 Kilo $T = 14{\cdot}2$ Kilogramm, ferner bei einer Verlängerung von 38 auf 1000, $E = 466{\cdot}2$ Kilogramm-Millimeter.

Das arithmetische Mittel aus diesen gefundenen Werthen gibt somit für den frischen Blattriemen von *Allium Porrum*, die grossen Werthe: $F = 17{\cdot}6$ Kilogramm und $T = 14{\cdot}71$ Kilogramm, ferner $E = 438{\cdot}6$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 38 auf 1000.

X. Blatt von *Allium Porrum* trocken.

Wassergehalt = 25 %.

1. Versuch.

Länge des Riemens = 170 Millimeter.

Bei 0·32 Kilogr. Belastung erfolgte eine Verlängerung von 0·0 Mm.
„ 0·5 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 0·9 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 0·10 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·35 „ „ „ „ „ „ 0·— „
„ 1·42 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·50 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·54 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·5414 „ riss der Riemen entzwei.

Belastung = 1·5414 Kilogr. Verlängerung = 3· Mm.

Die Querschnittsfläche des Bastes war auch bei diesem Blatte eine sehr kleine, nämlich 0·071 Quadratmillimeter, obgleich das Zerreissgewicht verhältnissmässig gross ausfiel. Aus diesen Angaben rechnen sich folgende Werthe: $F = 21{\cdot}71$ Kilogramm, $T = 17{\cdot}31$ Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 1·23 Kilogramm, ferner $E = 1230$ Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 17·5 auf 1000.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch.

Auch in diesem Versuche fielen die Werthe in Folge der sehr kleinen Querschnittsfläche des Bastes sehr gross aus, so ergab sich für eine Länge von 170 Millimeter und einem Zerreissgewichte von 1·0965 Kilogramm, für einen Querschnitt des Bastes von 0·051 Quadratmillimeter, $F = 21·5$ Kilo, $T = 17$ Kilogramm, ferner $E = 1229·5$ bei einer Verlängerung von 18 auf 1000.

3. Versuch.

Bei einem Zerreissgewichte von 1·6104 Kilogramm, $F = 21·51$ Kilogramm, $T = 17·2$ Kilogramm und $E = 1229·4$ Kilogramm, bei einer Verlängerung von 18 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Versuchen ergibt deshalb für den trockenen Riemen aus dem Blatte von *Allium Porrum* ein Festigkeitsmodul = 21·7 Kilogramm, ein Tragmodul = 17·5 Kilogramm und ein Elasticitätsmodul = 1230 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 17·5 auf 1000.

XI. Blatt von ***Allium cepa*** im frischen Zustande.

Wassergehalt = 80%.

1. Versuch.

Länge des Riemens = 96 Millimeter.

Bei	0·34	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·5 Mm.
„	0·45	„	„	„	„	„	1·0	„
„	0·47	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·49	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·50	„	„	„	„	„	0·0	„
„	0·61	„	„	„	„	„	0·5	„
„	0·80	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·20	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·30	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·35	„	„	„	„	„	0·—	„
„	1·386	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·3966	„	riss der Riemen.					

Belastung = 1·3966 Kilogr. Verlängerung = 5·5 Mm.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die mikroskopische Untersuchung des Querschnittes zeigte auch in diesem Blatte wieder jene schwache Entwickelung des Bastes, dessen Querschnittsfläche nur 0·0815 Quadratmillimeter betrug.

Bei der gefundenen Totalbelastung von 1·3966 Kilogramm berechnet sich nun der Festigkeitsmodul auf 17·13 Kilogramm, während der Tragmodul bei der Elasticitätsgrenze von 1·038 Kilo, die Grösse von 12·74 Kilo erreicht. Ferner ergibt sich für E der Werth von 154·816 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 57 auf 1000. Der

2. Versuch

ergab für ein Zerreissgewicht von 1·42 Kilogramm, $F = 18$ Kilo, $T = 13·2$ und $E = 150·3$ bei einer Verlängerung von 60 auf 1000. Ein

3. Versuch

zeigte ähnliche Resultate und zwar für $F = 18·41$ Kilo, $T = 12·8$ Kilo und $E = 151·01$ Kilogramm-Millimeter, die Verlängerung auf 1000 betrug 58·5.

Das Mittel aus diesen 3 Beobachtungen genommen, ergibt demnach für das frische Blatt von *Allium cepa* aber nur mit Berücksichtigung des Querschnittes des Bastes, $F = 17·85$ Kilogramm, $T = 12·9$ Kilogramm, $E = 151·942$ und eine Verlängerung von 58·5 auf 1000.

XII. Blatt von *Allium cepa* im trockenen Zustande.

Wassergehalt = 27%.

1. Versuch.

Länge des Riemens = 180 Millimeter.

Bei 0·3 Kilogr. Belastung erfolgte eine Verlängerung von 1·— Mm.
„ 0·7 „ „ „ „ „ „ 0·— „
„ 0·9 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·0 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·06 „ „ „ „ „ „ 0·— „
„ 1·09 „ „ „ „ „ „ 0·5 „

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei	1·12	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·— Mm.
„	1·20	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·30	„	„	„	„	„	0·—	„
„	1·51	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·58	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·60	„	„	„	„	„	0·5	„
„	1·61	„	„	„	„	„	0·—	„
„	1·6125	„	zerriss	der	Riemen.			

Totalbelastung = 1·6125 Kilogr. Verlängerung = 4·5 Mm.

Die Querschnittsfläche des Bastes betrug in wahrer Grösse nur 0·075 Quadratmillimeter, woraus sich bei dem gefundenen Zerreissgewichte $F = 21·5$ Kilogramm und bei einer Elasticitätsgrenze von 1·222 Kilogramm, $F = 16·2$ Kilogramm herausstellt, während der Elasticitätsmodul die Zahl 830·12 erreichte. Die Verlängerung auf 1000 betrug 22·2. Der

2. Versuch

lieferte folgende Resultate bei einer Querschnittsfläche der mechanischen Zellen von 0·0432 Quadratmillimeter: $F = 20·3$ Kilogramm, $T = 16$ Kilo bei einer Elasticitätsgrenze von 0·6912 Kilogramm, dann $E = 720·5$ Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 27·6 auf 1000. Der

3. Versuch

ergab $F = 10·6$ Kilogramm, $T = 16·2$ Kilogramm, $E = 730$ und eine Verlängerung von 23·5 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen Versuchen zeigt demnach für das trockene Blatt von *Allium cepa*, jedoch auch nur mit Berücksichtigung des Bastes in der belasteten Querschnittsfläche folgende Werthe: $F = 20·8$ Kilogramm, $T = 16·16$ Kilogramm $E = 760·2$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 24·36 auf 1000.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

XIII. Blatt von *Tulipa praecox* im frischen Zustande.
Wassergehalt = 85%.

1. Versuch.

Länge des Riemens = 170 Millimeter.

Bei 0·5 Kilogr. Belastung erfolgte eine Verlängerung von 1·0 Mm.
„ 0·8 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·0 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·05 „ „ „ „ „ „ 0·— „
„ 1·07 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·10 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·152 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·2 „ „ „ „ „ „ 1·— „
„ 1·207 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·212 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·3 „ „ „ „ „ „ 1·0 „
„ 1·32 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·4 „ „ „ „ „ „ 1·— „
„ 1·407 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·43 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 1·433 „ riss der Riemen entzwei.

Totalbelastung = 1·433 Kilogr. Verlängerung = 9·— Mm.

Die Querschnittsfläche des Bastes erreichte auch in diesem Falle nur die Grösse von 0·089 Quadratmillimeter, jedoch erschienen auch hier stark verdickte Epidermiszellen. Der Festigkeitsmodul berechnet sich somit auf 16·1 Kilogramm, der Tragmodul auf 11·5 Kilogramm, bei einer Elasticitätsgrenze von 1·0235 Kilogramm, der Modulus der Elasticität beträgt somit 295 Kilogramm-Millimeter, bei einer Verlängerung von 53 auf 1000.

2. Versuch

mit einem Riemen aus demselben Blatte und bei demselben Wassergehalte ergab für ein Zerreissgewicht von 1·378 Kilo, F = 15·78 Kilogramm, T = 11·0 Kilogramm, E = 290·3 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 50·5 auf 1000. Der

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. Versuch

lieferte folgende Resultate: $F = 16{\cdot}3$ Kilogramm, $T = 11{\cdot}5$ Kilogramm, $E = 284{\cdot}5$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 52·1 auf 1000.

Das Mittel zeigt daher für den frischen Riemen aus dem Blatte von *Tulipa praecox* ein Festigkeitsmodul von 15·72 Kilogramm, ein Tragmodul von 11·3 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 277·9 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 51·9 auf 1000.

XIV. Blatt von ***Tulipa praecox*** im trockenen Zustande.

Wassergehalt = 26% .

Länge des Riemens = 160 Millimeter.

1. Versuch.

Bei 0·05	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von 0·0 Mm.
„ 0·10	„	„	„	„	„	0·5 „
„ 0·15	„	„	„	„	„	0·— „
„ 0·20	„	„	„	„	„	0·5 „
„ 0·5	„	„	„	„	„	1·— „
„ 0·80	„	„	„	„	„	0·5 „
„ 1·00	„	„	„	„	„	1·— „
„ 1·05	„	„	„	„	„	0·— „
„ 1·10	„	„	„	„	„	0·5 „
„ 1·4	„	„	„	„	„	0·5 „
„ 1·46	„	„	„	„	„	0·— „
„ 1·50	„	„	„	„	„	0·— „
„ 1·56	„	zerriss der Riemen.				

Totalbelastung = 1·56 Kilogr. Verlängerung = 4·5 Mm.

Die Querschnittsfläche des Bastes betrug in wahrer Grösse 0·078 Quadratmillimeter, woraus sich $F = 20$ Kilogramm und bei einer Elasticitätsgrenze von 1·225 Kilogramm, $T = 15{\cdot}71$ Kilogramm berechnen, der Elasticitätsmodul betrug 700 Kilogramm-Millimeter, während die Verlängerung auf 1000 nur auf 27·7 sich herausstellt. Ein

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch

lieferte ähnliche Resultate und zwar $F = 19{\cdot}56$ Kilogramm, $T = 15{\cdot}7$ Kilogramm, $E = 706{\cdot}5$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 26·8 auf 1000. Der

3. Versuch

zeigte $F = 20{\cdot}1$ Kilogramm, $T = 16{\cdot}2$ Kilogramm, $E = 710$ und eine Verlängerung von 28 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen 3 Bestimmungen führt nun zu dem Resultate, dass auch bei diesem Blatte die Festigkeit im trockenen Zustande grösser, die Elasticität aber kleiner ist als im frischen. Der Festigkeitsmodul beträgt nämlich für das trockene Blatt von *Tulipa praecox* 19·886 Kilogramm, der Tragmodul 15·88 Kilogramm, während der Elasticitätsmodul die Grösse von 705·5 Kilogramm-Millimeter erreicht, und die Verlängerung auf 1000 nur 27·5 beträgt.

Zur deutlichen Übersicht und zum Vergleiche der in diesem Abschnitte angeführten Versuche sind in Folgendem die Resultate tabellarisch zusammengestellt. (Siehe pag. 27.)

Aus allen diesen Versuchen geht nun mit Bestimmtheit hervor, dass die schon erwähnte Voraussetzung Schwendener's bezüglich der Unterschiede zwischen dem lebenden und todten Bast, sich auch bei den von mir untersuchten Pflanzen bestätigt, dass auch hier die absolute Festigkeit mit dem abnehmenden Wassergehalte des Organes wächst, während die Elasticität in demselben Verhältnisse immer kleiner wird, dass also das trockene, bereits todte Blatt eine grössere Festigkeit, aber eine geringere Elasticität besitzt als das frische noch lebende.

Vergleicht man diese gefundenen Resultate mit den Festigkeits- und Elasticitätsverhältnissen der Metalle, wie es von Schwendener[1] bereits geschehen ist, so bestätigen meine Untersuchungen zwei von dem genannten Forscher ausgesprochene wichtige und unterscheidende Merkmale.

---

[1] L. c. pag. 14.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle I.

Name der Blätter	Wassergehalt in Procenten	Tragmodul in Kilogrammen	Festigkeitsmodul in Kilogrammen	Elasticitätsmodul in Kilogramm-Millimetern	Verlängerung auf 1000
Dracaena indivisia	40	17·—	21·83	1213	17
(Schmiedeeisen)	—	13·13	40·9	19700	$\frac{1}{1500}$
Dracaena indivisa	15	20·—	25·5	1677·6	12
Dasylirion longifolium . .	45	17·82	21·6	1710	13·3
„	11	23·16	26·73	2436	10·4
Phormium tenax	45	20·33	25·41	1536	13
„ „ . . .	13	24·—	27·—	2123	11·3
(Stahl)	—	24·6	82·—	20500	$\frac{1}{835}$
Hyacinthus orientalis . . .	90	12·27	16·27	330·41	50
„	25	17·54	20·027	1341·83	20
Allium Porrum	82	14·71	17·6	438·6	38
„ „	25	17·27	21·4	1229·38	17·7
Allium cepa	80	12·9	17·85	151·942	58·5
„ „	27	16·16	20·8	760·2	24·36
Tulipa praecox	85	11·3	15·72	277·9	51·9
(Silber)	—	11·00	29·—	7300·—	$\frac{1}{660}$
Tulipa praecox	26	15·88	19·886	705·5	27·5

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

1. Das vegetabilische Gewebe (specifisch-mechanische Zellen) lässt eine ungleich stärkere Dehnbarkeit erkennen als die Metalle (vergleiche die in Tabelle I angegebene Rubrik „Verlängerung auf 1000“).

2. Ist die Differenz zwischen Tragmodul und Elasticitätsmodul bedeutend geringer als bei den Metallen.[1]

Dieser geringe Unterschied zwischen dem Tragmodul und Festigkeitsmodul bei den vegetabilischen Organen kann auch unmittelbar durch das Experiment beobachtet werden.

Es zeigt sich nämlich, dass das Blatt in den meisten Fällen und bei vielen Pflanzen sogleich zerreisst, sobald die Spannung an der Elasticitätsgrenze merklich überschritten wird[2] und ich habe dieselbe Beobachtung gemacht wie Schwendener, dass z. B. ein Riemen, welcher bei 10 Kilogramm riss, noch keine bleibende Verlängerung erkennen liess.[3]

II. Capitel.

Festigkeits- und Elasticitätsverhältnisse der Epidermis.

Anschliessend an die Untersuchungen über die Festigkeit und Elasticität des Blattes habe ich es unternommen, auch die Epidermis verschiedener Blätter in dieser Richtung etwas näher zu untersuchen, vorzugsweise desshalb, weil einige Versuche mit frischen Blättern von *Allium Porrum* u. a. gezeigt haben, dass trotz der oft sehr schwach entwickelten specifisch-mechanischen Zellen doch eine ziemlich grosse Festigkeit sich herausstellte. Dass die Oberhaut eines Blattes auch in vielen Fällen auf Zugfestigkeit und Elasticität in der Pflanze in Anspruch genommen wird, ergibt sich schon aus der Betrachtung der Resultate über die Gewebespannung.

---

[1] Vergl. die in Tabelle I angegebenen Werthe für Metalle, welche entnommen sind Weisbach's Ingenieur- und Maschinenmechanik, 5. Aufl., pag. 416.

[2] Vergl. in den vorhergegangenen Versuchen den Festigkeitsmodel mit der Elasticitätsgrenze.

[3] Eine treffende und geistreiche Bemerkung über die physiologische Bedeutung dieser Thatsache macht Schwendener, l. c. pag. 15.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die zahlreichen Untersuchungen, welche über diesen Gegenstand bisher angestellt wurden, enthalten aber meines Wissens keine directen Bestimmungen über die Elasticität der Epidermis. In der grössten Arbeit über die Gewebespannung und ihre Folgen, welche von Dr. G. Kraus[1] ausgeführt wurde, habe ich nur einige wenige diesbezügliche Versuche aufgefunden. Kraus führt nämlich den Nachweis, dass die Elasticität der Epidermis mit dem Alter der peripherischen Gewebe wächst und zwar auf Grund von Versuchen mit der Oberhaut. Allein es dürften gegen die Methode der Untersuchung einige Bedenken erhoben werden, indem das Gewicht, welches durch Aufhängen an einen Streifen der Epidermis, diesen wieder auf seine ursprüngliche Länge auszudehnen im Stande ist, nicht als Mass der Elasticität, sondern nur als Mass der Spannung, in der sich das betreffende Gewebe in dem Organe befand, aufgefasst werden kann. Es müsste vielmehr die Elasticitätsgrenze, beziehungsweise der Elasticitätsmodulus der einzelnen Gewebe zahlenmässig durch das Experiment bestimmt werden, und dann erst, glaube ich, könnte auch die Intensität der Spannung richtiger beurtheilt werden.

Allein es kann hier nicht die Aufgabe sein, die genauen Beziehungen der Gewebespannung zur Elasticität und Festigkeit der Epidermis einer ausführlichen Besprechung und Untersuchung zu unterziehen, die folgenden Versuche sind vielmehr zu dem Zwecke angestellt worden, um einige andere Fragen bezüglich der Festigkeit und Elasticität der Oberhaut zu bearbeiten und einige physiologische Betrachtungen über die Bedeutung der gefundenen Thatsachen daran knüpfen zu können.

Vorerst habe ich es versucht, das in dem ersten Abschnitte angeführte Gesetz von der Beziehung des Wassergehaltes zur Festigkeit und Elasticität des Blattes auch an der Oberhaut zu prüfen und nachzusehen, ob nicht auch zwischen der unteren und oberen Epidermis Unterschiede in der Festigkeit und Elasticität sich herausstellen. Es ist desshalb bei allen folgenden Versuchen die Lage der Oberhaut speciell bemerkt worden.

Da über diesen Gegenstand noch gar keine Versuche in dieser Weise vorliegen, so musste eine eigene Untersuchungs-

---

[1] Die Gewebespannung und ihre Folgen. Bot. Zeit. 1867, Nr. 25.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

methode festgestellt werden, welche jedoch erst bei den einzelnen Versuchen selbst angeführt wird.

Der Apparat blieb, wie in den übrigen Versuchen, derselbe, nur wurden die Bestandtheile in der Weise modificirt, dass an die Stelle der grossen Klemmen zwei kleine von 6·4 Gramm Gewicht und an Stelle der Wagschale eine kleine Glas-, beziehungsweise Messingschale von 12—15·5 Gramm Gewicht traten. Das Abziehen der Epidermis vom Blatte musste mit grosser Sorgfalt und sehr langsam vorgenommen werden, weil oft schon ein kleines Gewicht, respective ein unbedeutender Zug hinreichend ist, um die Oberhaut über die Elasticitätsgrenze hinaus zu dehnen und man unzuverlässliche Resultate erlangen könnte. In manchen Fällen hielt ich es sogar für nothwendig, die zum Abziehen eines Streifens von bestimmter Breite erforderliche Kraft zu bestimmen, welches dadurch geschah, dass ich den Streifen einklemmte und beobachtete, durch welches Gewicht das Abziehen erfolgte.

Der bei den einzelnen Versuchen angegebene Wassergehalt bezieht sich auf das ganze Blatt, weil es nicht möglich war, den Wassergehalt der Oberhaut direct zu bestimmen.

1. Einfluss des Wassergehaltes auf die Elasticität und Festigkeit der Oberhaut.

I. Untere Epidermis des Blattes von *Hyacinthus orientalis.*

Wassergehalt des Blattes = 90%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 167 Millimeter. Breite = 2 Millimeter.

Bei	7·5	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von 5·—	Mm.
„	12·62	„	„	„	„	„	„ 3·—	„
„	18	„	„	„	„	„	„ 2·—	„
„	28	„	„	„	„	„	„ 1·—	„
„	38	„	„	„	„	„	„ 1·—	„
„	48	„	„	„	„	„	„ 1·—	„
„	58	„	„	„	„	„	„ 1·—	„
„	62	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	68	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	78	„	„	„	„	„	„ 1·—	„
„	88·62	„	riss der Streifen.					
Totalbelastung = 0·08862 Kilogr.						Verlängerung = 16 Mm.		

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Der Querschnitt zeigte bei 400maliger linearer Vergrösserung stark entwickelte excentrisch verdickte Epidermiszellen. Die belastete Fläche berechnete ich auf folgende Weise:

Ich zeichnete mittelst der Camera lucida mehrere, z. B. drei von einander ziemlich weit abstehende Epidermiszellen auf Millimeterpapier heraus, berechnete die Querschnittsfläche derselben durch Abzählen der Quadratmillimeter, nahm davon das arithmetische Mittel, dividirte die gefundene Zahl durch das Quadrat der Vergrösserung und erhielt somit die Querschnittsfläche einer Zelle. Dann bestimmte ich die Breite einer jeden gemessenen Zelle, dividirte die ganze Breite des Streifens durch diese Zahl und erhielt auf diese Weise annäherungsweise die Anzahl der Zellen.

Diese nun multiplicirt mit der gefundenen Querschnittsfläche einer Zelle, gibt die belastete Fläche des Querschnittes.

Querschnittsfläche der Zelle 1 = 52 □Millimeter
„ „ „ 2 = 60 „
„ „ „ 3 = 50 „
162 : 3 = 54 □Millimeter.

Die Querschnittsfläche einer Zelle (ohne Lumen) betrug somit 54 Quadratmillimeter bei 400maliger Vergrösserung.

Daher in wahrer Grösse = 0·0033 Quadratmillimeter.

Die scheinbare Breite der Zelle 1 betrug 6 Millimeter,
„ „ „ „ „ 2 „ 7 „
„ „ „ „ „ 3 „ 6 „
19 : 3 = 6·33 Mm.

Daher die scheinbare Breite einer Zelle im Durchschnitte = 6·33 Millimeter.

Da die wahre Breite des ganzen Streifens 2 Millimeter betrug, also bei 400maliger Vergrösserung 800 Millimeter, so berechnet sich die Anzahl der Zellen auf 126.

Desshalb ergibt sich für die Fläche des gesammten belasteten Querschnittes 0·0033 × 126 = 0·4158 Quadratmillimeter in wahrer Grösse.

Diese Methode der Bestimmung des effectiv belasteten Querschnittes wurde bei allen folgenden Versuchen angewendet, jedoch hielt ich es für überflüssig, in jedem Falle die Rechnung

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

anzuführen, es ist desshalb bei den übrigen Versuchen nur kurzweg die belastete Fläche der Epidermiszellen angegeben.

Aus diesen gefundenen Werthen ergibt sich also $F = 0{\cdot}21$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}15$ Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 0·01862 Kilogramm, ferner $E = 2{\cdot}165$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 95·7 auf 1000.

2. Versuch.

Ein Streifen derselben Oberhaut von demselben Wassergehalte ergab bei einem Querschnitte von 0·371 Quadratmillimeter und einem Zerreissgewichte von 0·0927 Kilogramm: $F = 0{\cdot}25$ Kilo, $T = 0{\cdot}17$ Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 0·06307 Kilo, $E = 2{\cdot}15$, und eine Verlängerung von 95 auf 1000. Der

3. Versuch

lieferte folgende Resultate: $F = 0{\cdot}25$ Kilo, $T = 0{\cdot}15$ Kilogramm, $E = 2{\cdot}16$ und eine Verlängerung von 95·7 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Versuchen zeigt also für die untere Epidermis des Blattes von *Hyacinthus orientalis* im frischen Zustande ein Festigkeitsmodul von 0·28 Kilo, ein Tragmodul von 0·16 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 2·165 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 95·5 auf 1000.

II. Obere Epidermis des Blattes von ***Hyacinthus orientalis.***

Wassergehalt des Blattes = 90%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 136 Millimeter. Breite = 4 Millimeter.

Bei	7·5	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	5·— Mm.
„	12·62	„	„	„	„	„	„	4·— „
„	22	„	„	„	„	„	„	1·— „
„	27	„	„	„	„	„	„	1·— „
„	32	„	„	„	„	„	„	1·— „
„	42	„	„	„	„	„	„	1·5 „
„	52	„	„	„	„	„	„	1·5 „
„	62	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	72	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	77	„	„	„	„	„	„	0·5 „

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei 87 Gramm Belastung erfolgte eine Verlängerung von 0·5 Mm.
„ 97 „ zerriss der Streifen.

Totalbelastung = 0·09762 Kilogr. Verlängerung = 17 Mm.

Die Querschnittfläche der Epidermiszellen betrug im Mittel = 0·6 Quadratmillimeter; hieraus berechnet sich $F = 0·156$ Kilogramm, $T = 0·087$ Kilo, bei einer Elasticitätsgrenze von 0·052 Kilogramm, ferner $E = 1·362$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 124 auf 1000.

2. Versuch.

Für die Länge eines Streifens von 171·4 Millimeter, einem Zerreissgewichte von 0·078 Kilogramm und einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·43 Quadratmillimeter ergibt sich $F = 0·178$ Kilo, $T = 0·12$ Kilo und $E = 1·35$ Kilogramm-Millimeter. Die Verlängerung auf 1000 betrug 124.

Das Mittel aus diesen Bestimmungen ergibt daher für die obere Epidermis des Blattes von *Hyacinthus orientalis* im frischen Zustande einen Festigkeitsmodul von 0·167 Kilogramm, ein Tragmodul von 0·1035 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 1·351 Kilogramm - Millimeter und eine Verlängerung von 124 auf 1000.

Diese Resultate, verglichen mit den an der unteren Epidermis gefundenen, zeigen, dass die Elasticität der oberen Epidermis bedeutend grösser, die Festigkeit aber geringer als an der unteren Oberhaut sich herausstellt.

III. Obere Epidermis des Blattes von ***Hyacinthus orientalis.***

bei einem Wassergehalte des Blattes von nur 24%.

Länge des Streifens = 107·2 Millimeter. Breite = 10 Millimeter.

1. Versuch.

Bei 6·7 Gramm Belastung erfolgte eine Verlängerung von 3·— Mm.
„ 22 „ „ „ „ „ „ 3·— „
„ 40 „ „ „ „ „ „ 1·— „
„ 50 „ „ „ „ „ „ 1·— „
„ 70 „ „ „ „ „ „ 0·— „
„ 90 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 100 „ „ „ „ „ „ 0· „
„ 120 „ „ „ „ „ „ 0·5 „

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei 160 Gramm Belastung erfolgte eine Verlängerung von 0·5 Mm.
„ 200 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 206·28 „ zerriss der Streifen.

Totalbelastung = 0·20628 Kilogr. Verlängerung = 10 Mm.

Die Fläche der Epidermiszellen betrug auf dem Querschnitte 0·191 Quadratmillimeter, woraus sich $F = 1·08$ Kilogramm, $T = 0·65$ Kilogramm und $E = 8·87$ Kilogramm-Millimeter berechnen; die Verlängerung auf 1000 beträgt 93·23. Ein

2. Versuch

lieferte ganz gleiche Resultate. Es ist also für die obere Epidermis von *Hyacinthus orientalis* im trockenen Zustande der Festigkeitsmodul = 1·08 Kilogramm, der Tragmodul = 0·65 Kilogramm, der Elasticitätsmodul = 8·87 Kilogramm - Millimeter und die Verlängerung auf 1000, 93·23.

Es ist also ersichtlich, dass die trockene Epidermis eine grössere Festigkeit aber eine geringere Elasticität zeigt als die frische, welche einen grösseren Wassergehalt besitzt.

IV. Untere Epidermis des Blattes von ***Hyacinthus orientalis***

bei einem Wassergehalte des Blattes von 25%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 97·2 Millimeter. Breite = 6 Millimeter.
Bei 10·5 Gramm Belastung erfolgte eine Verlängerung von 2·— Mm.
„ 25 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 40 „ „ „ „ „ „ 1·— „
„ 45·5 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 50 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 60 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 90 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 120 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 150 „ „ „ „ „ „ 1·0 „
„ 170 „ „ „ „ „ „ 1·— „
„ 210 „ „ „ „ „ „ 1·— „
„ 223 „ zerriss der Streifen.

Totalbelastung = 0·223 Kilogr. Verlängerung = 9 Mm.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·19 Quadratmillimeter, woraus sich $F = 1·23$ Kilogramm und $T = 0·89$ Kilogramm berechnen bei einer Elasticitätsgrenze von 0·1691 Kilogramm; der Elasticitätsmodul betrug 9·87 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 92·71 auf 1000. Ein

2. Versuch

ergab folgende Resultate: Bei einer Fläche der Epidermiszellen von 0·12 Quadratmillimeter und einem Zerreissgewichte von 0·1072 Kilogramm, $F = 1·06$ Kilogramm, $T = 0·75$ Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 0·09 Kilogramm, ferner $E =$ 9·9 Kilogramm - Millimeter.

3. Versuch.

Ein Streifen von 98 Millimeter Länge und 8 Millimeter Breite lieferte, $F = 1·058$ Kilogramm $T = 0·75$ Kilogramm, $E = 9·87$ Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 92·7 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen Versuchen genommen, zeigt desshalb für die untere Epidermis des Blattes von *Hyacinthus orientalis* im trockenen Zustande $F = 1·145$ Kilogramm, $T =$ 0·82 Kilogramm, $E = 9·78$ Kilogramm - Millimeter und eine Verlängerung von 92·71 auf 1000.

V. Obere Epidermis des Blattes von *Allium Porrum.*

Wassergehalt des Blattes = 87%.

Länge des Streifens = 43·7 Millimeter. Breite = 5·7 Millimeter.

1. Versuch.

Bei 7·6 Gramm Belastung erfolgte eine Verlängerung von 1·5 Mm.

„	12·6	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	20	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	25	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	30	„	„	„	„	„	„ 1·—	„
„	30·5	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	35	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	40	„	„	„	„	„	„ 0·5	„

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei 45 Gramm Belastung erfolgte eine Verlängerung von 0·5 Mm.
„ 50 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 60 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 65 „ „ „ „ „ „ 0·— „
„ 66·6 „ zerriss der Streifen.

Totalbelastung = 0·0666 Kilogr. Verlängerung = 7 Mm.

Der Querschnitt zeigte bei 400maliger linearer Vergrösserung stark verdickte Epidermiszellen von der Querschnittsfläche = 0·037 Quadratmillimeter. Desshalb berechnet sich $F = 1·8$ Kilogramm und bei einer Elasticitätsgrenze von 0·0247 Kilogramm, $T = 0·67$ Kilogramm. Der Elasticitätsmodulus berechnet sich auf 8·7 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 160 auf 1000.

2. Versuch.

Für einen Streifen aus derselben Epidermis und bei demselben Wassergehalte und einer Querschnittsfläche der Oberhautzellen von 0·3 Quadratmillimeter, bei einem Zerreissgewichte von 0·3375 Kilogramm, ergibt sich $F = 1·125$ Kilo und bei einer Elasticitätsgrenze von 0·3 Kilogramm, $T = 1·0$ Kilogramm, der Elasticitätsmodul betrug 8·9 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 160 auf 1000. Ein

3. Versuch

ergab für einen Streifen von derselben Länge und Breite bei einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·123 Quadratmillimeter $F = 1·125$ Kilogramm, $T = 1·1$ Kilogramm, $E = 8·92$ Kilogramm-Millimeter und ebenfalls eine Verlängerung von 160 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen Bestimmungen gibt demnach für die obere Epidermis des Blattes von *Allium Porrum* im frischen Zustande, $F = 1·4625$ Kilo, $T = 0·835$ Kilo, ferner $E = 8·8$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 160 auf 1000.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

VI. Untere Epidermis des Blattes von *Allium Porrum*

bei einem Wassergehalte des Blattes von 87%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 40·4 Millimeter. Breite = 5 Millimeter.

Bei	10	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	1·— Mm.
„	20	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	30	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	35·5	„	„	„	„	„	„	0.— „
„	40	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	50	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	60	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	70	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	80	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	100	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	110	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	120	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	129·2	„	riss der Streifen entzwei.					

Totalbelastung = 0·1292 Kilogr. Verlängerung = 5·5 Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·071 Quadratmillimeter, hieraus ergibt sich $F = 1·75$ Kilogramm und bei einer Elasticitätsgrenze von 0·07952 Kilo, $T = 1·12$ Kilogramm, ferner $E = 12·7$ Kilogramm - Millimeter bei einer Verlängerung von 136 auf 1000.

2. Versuch.

Ein Streifen von derselben Länge und dem Querschnitte der Epidermiszellen von 0·13 Quadratmillimeter ergab: $F = 1·75$ Kilogramm und $T = 0·942$ Kilogramm, $E = 12·3$ Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 138 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Versuchen ergibt demnach für die untere Epidermis des frischen Blattes von *Allium Porrum*: $F = 1·78$ Kilogramm, $T = 1·03$ Kilo, $E = 12·5$ Kilogramm - Millimeter und eine Verlängerung von 137 auf 1000.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

VII. Obere Epidermis des Blattes von *Allium Porrum*

bei einem Wassergehalte des Blattes von 25%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 32 Millimeter. Breite = 6·5 Millimeter.

Bei	20	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	1·—	Mm.
„	30	„	„	„	„	„	„	0·—	„
„	40	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„	60	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„	80	„	„	„	„	„	„	0	„
„	100	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„	150	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„	200	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„	250	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„	300	„	„	„	„	„	„	0·5	„
„	350	„	„	„	„	„	„	0	„
„	370	„	zerriss der Streifen.						

Totalbelastung = 0·37 Kilogr. Verlängerung = 4·5 Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug 0·176 Quadratmillimeter; hieraus $F = 2·1$ Kilogramm, $T = 1·23$ Kilogramm und $E = 14·1$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 130 auf 1000.

2. Versuch.

Ein Streifen von derselben Länge und einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·23 Quadratmillimeter gab folgende Resultate: $F = 2·15$ Kilo, $T = 1·25$ Kilo, $E = 14·5$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 135 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen Versuchen ergibt somit für die obere Epidermis des trockenen Blattes von *Allium Porrum*, $F = 2·125$ Kilogramm, $T = 1·25$ Kilogramm, $E = 14·3$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 132 auf 1000.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

VIII. Untere Epidermis des Blattes von *Allium Porrum*

bei einem Wassergehalte des Blattes von 25%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 38·8 Millimeter. Breite = 4·5 Millimeter.

Bei	20	Gramm Belastung erfolgte eine Verlängerung von	1·— Mm.
„	40	„ „ „ „ „ „	0·5 „
„	50	„ „ „ „ „ „	0·5 „
„	70	„ „ „ „ „ „	0·— „
„	90	„ „ „ „ „ „	0·5 „
„	120	„ „ „ „ „ „	0·5 „
„	150	„ „ „ „ „ „	0·5 „
„	200	„ „ „ „ „ „	0·5 „
„	250	„ „ „ „ „ „	0·5 „
„	300	„ „ „ „ „ „	0·5 „
„	400	„ „ „ „ „ „	0 0 „
„	420	„ „ „ „ „ „	0·— „
„	450	„ riss der Streifen entzwei.	

Totalbelastung = 0·45 Kilogr. Verlängerung = 5 Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug im Mittel 0·125 Quadratmillimeter, woraus sich $F = 2·3$ Kilo und $T = 1·03$ Kilogramm, bei einer Elasticitätsgrenze von 0·221 Kilogramm berechnen. Der Elasticitätsmodul war 16·25 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 128 auf 1000.

2. Versuch.

Ein Streifen aus derselben Epidermis und bei demselben Wassergehalte ergab für einen Querschnitt der Zellen von 0·223 Quadratmillimeter und bei einem Zerreissgewichte von 0·49283 Kilogramm, $F = 2·21$ Kilogramm, $T = 1·12$ Kilogramm, $E = 16·70$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 132 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen Beobachtungen zeigt also für die untere Epidermis des trockenen Blattes von *Allium*

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Porrum, $F = 2{\cdot}225$ Kilogramm, $T = 1{\cdot}075$ Kilo, $E = 16{\cdot}45$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von nur 130 auf 1000.

IX. Obere Epidermis des Blattes von *Allium cepa* bei einem Wassergehalte des Blattes von 85%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 68 Breite = 6·5 Millimeter.

Bei	7·6	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung von	3·— Mm.
„	20	„	„	„	„	„	2·0 „
„	40	„	„	„	„	„	0·5 „
„	45	„	„	„	„	„	0·5 „
„	50	„	„	„	„	„	0·5 „
„	56	„	„	„	„	„	0·5 „
„	60	„	„	„	„	„	0·— „
„	65	„	„	„	„	„	0·5 „
„	70	„	„	„	„	„	0·— „
„	79	„	riss der Streifen.				

Totalbelastung = 0·079 Kilogr. Verlängerung = 7·5 Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·152 Quadratmillimeter, wesshalb sich folgende Werthe berechnen. $F = 0{\cdot}537$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}171$ Kilogramm, bei einer Elasticitätsgrenze von 0·02599 Kilogramm, ferner $E = 8{\cdot}9$ Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 110 auf 1000.

2. Versuch.

Dieser Versuch ergab für einen Streifen von derselben Länge und der Querschnittsfläche von 0·131 Quadratmillimeter der Epidermiszellen $F = 0{\cdot}54$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}18$ Kilogramm und $E = 9{\cdot}0$ Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 110 auf 1000. Ein

3. Versuch,

welcher ebenfalls mit einem Streifen derselben Epidermis und bei derselben Länge ausgeführt wurde, ergab folgende Resultate: $F = 0{\cdot}6$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}176$ Kilogramm, $E = 8{\cdot}8$ und eine Verlängerung von 110 auf 1000.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Das Mittel aus diesen Versuchen gibt demnach für die obere Epidermis des frischen Blattes von *Allium cepa* folgende Werthe: $F = 0{\cdot}826$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}176$ Kilogramm, $E = 8{\cdot}91$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 110 auf 1000.

X. Untere Epidermis des Blattes von *Allium cepa*.

Wassergehalt des Blattes = 85%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 40 Millimeter. Breite = 10 Millimeter.

Bei	10·5	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·5 Mm.
„	40	„	„	„	„	„	0·5	„
„	50	„	„	„	„	„	0·5	„
„	70	„	„	„	„	„	0·5	„
„	100	„	„	„	„	„	0·5	„
„	150	„	„	„	„	„	0·5	„
„	170	„	„	„	„	„	0·5	„
„	175	„	„	„	„	„	0·—	„
„	175·3	„	zerriss der Streifen.					

Totalbelastung = 0·1753 Kilogr. Verlängerung = 3·5 Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·167 Quadratmillimeter, woraus sich $F = 1{\cdot}05$ Kilogramm und $T = 0{\cdot}72$ Kilogramm berechnen, ferner $E = 12{\cdot}8$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 87·5 auf 1000.

2. Versuch.

Ein Streifen von derselben Länge und einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·0923 Quadratmillimeter ergab $F = 1{\cdot}12$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}81$ Kilogramm, $E = 12{\cdot}91$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 90 auf 1000. Ein

3. Versuch

lieferte ähnliche Resultate und zwar $F = 1{\cdot}07$ Kilogramm bei einem Zerreissgewichte von 0·062 Kilogramm und einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·058 Quadratmillimeter,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ferner $T = 0{\cdot}82$ Kilo, $E = 12{\cdot}9$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 85·5 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen Bestimmungen zeigt desshalb für die untere Epidermis des frischen Blattes von *Allium cepa* ein Festigkeitsmodul = 1·413 Kilogramm, ein Tragmodul = 0·783 Kilogramm, einen Elasticitätsmodul = 12·87 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 87·5 auf 1000.

XI. Obere Epidermis des Blattes von *Allium cepa*

bei einem Wassergehalte des Blattes = 30%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 38·8 Millimeter. Breite = 4·5 Millimeter.

Bei	7·6	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von 0·5 Mm.
„	20	„	„	„	„	„	1·— „
„	25	„	„	„	„	„	0·5 „
„	35	„	„	„	„	„	0·5 „
„	45	„	„	„	„	„	0·5 „
„	50	„	„	„	„	„	0·5 „
„	55	„	„	„	„	„	0·— „
„	59	„	„	„	„	„	0·— „
„	59·5	„	zerriss der Streifen.				

Totalbelastung = 0·0595 Kilogr. Verlängerung = 3·5 Mm.

Die mikroskopische Untersuchung des Querschnittes zeigte stark verdickte Epidermiszellen von der Querschnittsfläche in wahrer Grösse = 0·034 Quadratmillimeter. Es berechnet sich daher $F = 1{\cdot}75$ Kilogramm und $T = 0{\cdot}74$ Kilo bei einer Elasticitätsgrenze von 0·02516 Kilogramm, ferner $E = 15{\cdot}87$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 90 auf 1000.

2. Versuch.

Für einen Epidermisstreifen derselben Länge und einer Querschnittsfläche der Zellen von 0·052 Quadratmillimeter ergab sich bei einem Zerreissgewichte von 0·0816 Kilogramm, $F = 1{\cdot}57$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}83$ Kilogramm, ferner $E = 18{\cdot}7$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 76 auf 1000. Der

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. Versuch

mit einem Streifen aus derselben Epidermis lieferte folgende Resultate: $F = 1{\cdot}75$ Kilogramm, bei einem Zerreissgewichte von 0·0542 Kilogramm und einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·031 Quadratmillimeter, ferner $T = 1{\cdot}04$ Kilogramm, $E = 18{\cdot}8$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 89·8 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen 3 Versuchen zeigt desshalb für die obere Epidermis des trockenen Blattes von *Allium cepa*, $F = 1{\cdot}693$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}87$ Kilogramm, $E = 17{\cdot}47$ Kilogramm - Millimeter und eine Verlängerung von 85 auf 1000.

XII. Untere Epidermis des Blattes von ***Allium cepa*** bei einem Wassergehalte des Blattes = 30%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 48·3 Millimeter. Breite = 15·5 Millimeter.

Bei	20	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	1·—Mm.
„	50	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	70	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	100	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	120	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	160	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	200	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	210	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	230	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	230·14	„	riss der Streifen entzwei.					

Totalbelastung = 0·23014 Kilogr. Verlängerung = 4·Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·142 Quadratmillimeter, woraus sich $F = 1{\cdot}7$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}82$, $E = 19{\cdot}7$ Kilogramm - Millimeter und eine Verlängerung von 83 auf 1000 berechnen.

2. Versuch.

Mit einem Streifen von derselben Länge und der Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·051 Quadratmillimeter

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ergab folgende Werthe: $F = 1{\cdot}81$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}93$ Kilogramm, $E = 18{\cdot}5$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 82·53 auf 1000. Ein

3. Versuch

lieferte folgende Resultate: $F = 1{\cdot}91$ Kilo, $T = 1{\cdot}07$ Kilo, $E = 19{\cdot}5$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 84·3 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Beobachtungen genommen, ergibt daher für die untere Epidermis des trockenen Blattes von *Allium cepa* ein Festigkeitsmodul von 1·8 Kilogramm, ein Tragmodul von 0·93 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 18·91 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 82·3 auf 1000.

XIII. Obere Epidermis des Blattes von *Tulipa praecox*

bei einem Wassergehalte des Blattes von 89%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 64·6 Millimeter. Breite = 8·5 Millimeter.

Bei	20	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung von	2·— Mm.
„	40	„	„	„	„	„	1·— „
„	60	„	„	„	„	„	0·5 „
„	70	„	„	„	„	„	0·5 „
„	90	„	„	„	„	„	1·— „
„	100	„	„	„	„	„	0·5 „
„	105·8	„	„	„	„	„	0·5 „
„	109	„	„	„	„	„	0·5 „
„	110·7	„	„	„	„	„	0·5 „
„	112	„	„	„	„	„	0·5 „
„	112·4	„	zerriss	der	Streifen.		

Totalbelastung = 0·1124 Kilogr. Verlängerung = 7·5 Mm.

Auch bei der Epidermis dieses Blattes zeigte der Querschnitt stark verdickte Oberhautzellen von der Fläche = 0·154 Quadratmillimeter, wesshalb sich hieraus $F = 0{\cdot}73$ Kilo, $T = 0{\cdot}189$ Kilo, $E = 8{\cdot}1$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 116 auf 1000 berechnen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch.

Ein Streifen aus derselben Epidermis und bei demselben Wassergehalte des Blattes lieferte folgende Resultate: $F = 0{\cdot}834$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}21$ Kilogramm, $E = 8{\cdot}57$ und eine Verlängerung von 112 auf 1000. Ein

3. Versuch

mit einem Streifen von derselben Länge und einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·017 Quadratmillimeter ergab $F = 0{\cdot}971$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}233$ Kilogramm, $E = 8{\cdot}71$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 116 auf 1000.

Aus diesen 3 Versuchen das arithmetische Mittel genommen, ergibt sich demnach für die obere Epidermis des frischen Blattes von *Tulipa praecox* ein Festigkeitsmodul von 0·845 Kilogramm, ein Tragmodul = 0·2103 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul = 8·56 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 114·5 auf 1000.

XIV. Untere Epidermis des Blattes von *Tulipa praecox*

bei einem Wassergehalte des Blattes von 89%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 60·7 Millimeter. Breite = 4·5 Millimeter.

Bei 7·6 Gramm Belastung erfolgte eine Verlängerung von 2·5 Mm.

„ 15	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 30	„	„	„	„	„	1·—	„
„ 40	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 50	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 60	„	„	„	„	„	0·5	„
„ 65	„	„	„	„	„	0·—	„
„ 70	„	„	„	„	„	0·—	„
„ 78·75	„	zerriss der Streifen.					

Totalbelastung = 0·07875 Kilogr. Verlängerung = 5·5 Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·036 Quadratmillimeter, woraus sich $F = 1{\cdot}25$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}72$ Kilogramm, $E = 13{\cdot}2$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 90·5 auf 1000 berechnen. Ein

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch

mit einem Streifen von derselben Länge und demselben Wassergehalte zeigte folgende Verhältnisse: $F = 1{\cdot}05$ Kilo, bei einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·043 Quadratmillimeter, dann $T = 0{\cdot}28$ Kilogramm. $E = 12{\cdot}7$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 87·2 auf 1000. Der

3. Versuch

ergab für eine Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·04 Quadratmillimeter, $F = 1{\cdot}07$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}31$ Kilo, $E =$ 13·2 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 90 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen 3 Versuchen ergibt desshalb für die untere Epidermis des frischen Blattes von *Tulipa praecox* ein Festigkeitsmodul = 1·123 Kilo, ein Tragmodul = 0·5 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul = 12·96 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 89·23 auf 1000.

XV. Obere Epidermis des Blattes von *Tulipa praecox*

bei einem Wassergehalte des Blattes von 26%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 60·6 Millimeter. Breite = 5·5 Millimeter.

Bei	10	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von 2·5 Mm.
„	25	„	„	„	„	„	0·5 „
„	35	„	„	„	„	„	0·5 „
„	45	„	„	„	„	„	0·— „
„	50	„	„	„	„	„	0·5 „
„	80	„	„	„	„	„	0·5 „
„	100	„	„	„	„	„	0·— „
„	120	„	„	„	„	„	0·— „
„	133·5	„	zerriss der Streifen.				

Totalbelastung = 0·1335 Kilogr. Verlängerung = 4·5 Mm.

Der belastete Querschnitt der Epidermiszellen berechnete sich auf 0·075 Quadratmillimeter, wesshalb sich folgende Werthe

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ergaben: $F = 1{\cdot}78$ Kilogramm, $T = 1{\cdot}05$ Kilogramm, $E = 20{\cdot}1$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 74·2 auf 1000.

2. Versuch.

Mit einem Streifen derselben Länge und derselben Epidermis zeigte $F = 1{\cdot}81$ Kilogramm bei einer Querschnittsfläche der Oberhautzellen von 0·037 Quadratmillimeter, ferner $T = 1{\cdot}13$ Kilogramm, $E = 19{\cdot}81$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 81·52 auf 1000. Ein

3. Versuch

lieferte folgende Resultate: $F = 1{\cdot}87$ Kilogramm, $T = 1{\cdot}07$ Kilo, $E = 18{\cdot}89$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 83 auf 1000.

Hieraus berechnet sich als Mittel aus diesen 3 Versuchen für die obere Epidermis des trockenen Blattes von *Tulipa praecox* ein Festigkeitsmodul von 1·872 Kilogramm, ein Tragmodul = 1·083 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 18·98 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 79·52 auf 1000.

XVI. Untere Epidermis des Blattes von *Tulipa praecox*

bei einem Wassergehalte des Blattes von 26%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 44·5. Breite = 6·2 Millimeter.

Bei	7·6	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·5 Mm.
„	20	„	„	„	„	„	„	1·— „
„	40	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	60	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	80	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	100	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	110	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	120	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	120·96	„	zerriss der Streifen.					

Totalbelastung = 0·12096 Kilogr. Verlängerung = 3·5 Mm.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·063 Quadratmillimeter. Es berechnet sich desshalb $F = 1{\cdot}92$ Kilogramm, $T = 1{\cdot}23$ Kilogramm, $E = 20{\cdot}5$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 78·5 auf 1000. Ein

2. Versuch

mit einem Streifen derselben Epidermis und bei demselben Wassergehalte ergab bei einem Zerreissgewichte von 0·0543 Kilogramm, $F = 1{\cdot}87$ Kilogramm. $T = 1{\cdot}21$ Kilogramm, $E = 19{\cdot}22$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 72·43 auf 1000. Ein

3. Versuch

zeigte folgende Resultate: $F = 1{\cdot}79$ Kilogramm, $T = 1{\cdot}31$ Kilo, $E = 19{\cdot}1$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 74 auf 1000.

Es ergibt sich daher für die untere Epidermis des trockenen Blattes von *Tulipa praecox* ein Festigkeitsmodul von 1·89 Kilo, ein Tragmodul von 1·23 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul = 19·3 und eine Verlängerung von 75·2 auf 1000.

Die folgende Tabelle (Seite 49) enthält nun alle Resultate zusammengefasst, welche sich aus den Versuchen in diesem Abschnitte ergeben haben.

Diese Versuche zeigen nun auf das deutlichste, dass auch an der vegetabilischen Epidermis gerade so wie am Baste und am Holze das Gesetz sich offenbart, dass die absolute Festigkeit im trockenen Zustande grösser ist als im frischen, die Elasticität aber sich geringer herausstellt.

Allein diese Versuche lehren auch noch eine andere, ganz merkwürdige Thatsache, nämlich die, dass die obere Epidermis der untersuchten Blätter auch andere Festigkeits- und Elasticitätsverhältnisse als die untere erkennen lässt, dass die Festigkeit der oberen Epidermis kleiner, die Elasticität aber grösser ist, während für die Oberhaut der Unterseite des Blattes gerade das Umgekehrte gilt. Die Elasticität der Epidermis ist demnach an der Zugseite des Blattes grösser als an der Druckseite.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tabelle II.

Name	Epidermis	Wassergehalt des Blattes in Procenten	Tragmodul in Kilogrammen	Festigkeitsmodul in Kilogrammen	Elasticitätsmodul in Kilogramm-Millimeter	Verlängerung auf 100
Hyacinthus orientalis	obere	90	0·1035	0·167	1·351	124
„	untere	90	0·16	0·23	2·165	95·7
„	obere	24	0·65	1·08	8·87	93·23
„	untere	24	0·82	1·145	9·78	92·17
Allium Porrum . .	obere	87	0·835	1·4625	8·8	160
„ „ . .	untere	87	1·03	1·78	12·5	137
„ „ . .	obere	25	1·24	2·125	14·3	132
„ „ . .	untere	25	1·075	2·255	16·45	130
Allium cepa	obere	85	0·167	0·826	8·91	110
„ „	untere	85	0·783	1·413	12·87	87·5
„ „	obere	30	0·87	1·693	17·47	85·0
„ „	untere	30	0·93	1·8	18 91	82·3
Tulipa praecox . .	obere	89	0·2103	0·845	8·56	114·5
„ „ . .	untere	89	0·5	1·123	12·96	89·23
„ „ . .	obere	26	1·083	1·872	18·98	79·57
„ „ . .	untere	26	1·23	1·89	19·3	75·2

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Beziehung der Elasticität der Epidermis zum Heliotropismus.

Die herrschende Ansicht über das Zustandekommen des Heliotropismus ist wohl die, dass die Schattenseite stärker wächst als die Lichtseite des betreffenden Organes.

Diese Ansicht steht jedoch nicht unangefochten da; es sind noch zwei andere Erklärungsweisen gegeben worden. Einmal der ungleiche Turgor der Zellen an der Licht- und Schattenseite, und dann die verminderte Dehnbarkeit der Zellenwände in Folge stärkerer Verdickung an der dem Lichte zugewendeten Seite des betreffenden Organes.

Die Gründe für und wider diese Erklärungsweisen hat Sachs[1] eingehend beleuchtet.

Es ist indess für die Erklärung des positiven Heliotropismus noch eine vierte Möglichkeit in Betracht zu ziehen.

Die im früheren Capitel constatirte Thatsache der ungleichen Elasticität an verschiedenen Seiten eines Organes könnte möglicherweise zur Erklärung des Zustandekommens des positiven Heliotropismus herangezogen werden, falls sich ein Einfluss der Beleuchtung auf die Elasticität der Gewebe eines heliotropisch krümmungsfähigen Organes zeigen würde. Ich habe deshalb zunächst versucht nachzusehen, wie sich die Elasticität der Oberhaut an der Licht- und Schattenseite heliotropisch krümmungsfähiger Organe verhält.

Die Versuche habe ich mit der Epidermis des Blüthenstieles der Hyacinthe und der Tulpe ausgeführt und hier auch ziemlich auffallende Unterschiede in der Elasticität der Licht- und Schattenseite constatirt.

Der Vollständigkeit wegen und im Anschlusse an die vorhergegangenen Versuche wurde auch in den folgenden Experimenten die Festigkeit nebenher bestimmt.

---

[1] Lehrbuch der Botanik. 4. Auflage. pag. 807.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

I. Vordere Epidermis des Blüthenstieles von *Hyacinthus orientalis*

bei einem Wassergehalte von 85%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 71 Millimeter. Breite = 4 Millimeter.

Bei	7·5	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	1·5 Mm.
„	12·6	„	„	„	„	„	1·5	„
„	17·6	„	„	„	„	„	0·5	„
„	19·6	„	„	„	„	„	0·5	„
„	21·6	„	„	„	„	„	0·5	„
„	26·6	„	„	„	„	„	0·—	„
„	29·75	„	„	„	„	„	0·5	„
„	35	„	„	„	„	„	0·5	„
„	36·21	„	riss der Streifen entzwei.					

Totalbelastung = 0·03621 Kilogr. Verlängerung = 5·5 Mm.

Die Epidermiszellen zeigten bei einer 400maligen linearen Vergrösserung stark excentrisch verdickte Membranen und zwar betrug der Querschnitt derselben in wahrer Grösse 0·017 Quadratmillimeter. Es berechnet sich desshalb hieraus $F = 2·13$ Kilogramm und bei einer Elasticitätsgrenze von 0·02975 Kilogramm, $T = 1·75$ Kilogramm, der Elasticitätsmodul erreichte hier die Zahl von 24·2 Kilogramm-Millimeter, während die Verlängerung auf 1000 nur 76·78 betrug.

2. Versuch.

Ein Streifen von derselben Oberhaut und demselben Wassergehalte des Blüthenstieles ergab bei einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von 0·0207 Quadratmillimeter, $F = 2·12$ Kilo, $T = 1·81$ Kilogramm, $E = 24·32$ Kilogramm-Millimeter, bei einer Verlängerung von 77·1 auf 1000. Ein

3. Versuch,

welcher mit einem Streifen von derselben Länge angestellt wurde, zeigte bei einer Querschnittsfläche der Epidermiszellen von

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

0·0182 Quadratmillimeter, $F = 2·13$ Kilogramm, $T = 1·74$ Kilogramm, $E = 24·12$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 75·2 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Bestimmungen ergibt also für die vordere der grösseren Lichtintensität ausgesetzten Epidermis ein Festigkeitsmodul von 2·126 Kilogramm, ein Tragmodul von 1·75 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 24·213 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 76·3 auf 1000.

II. Hintere Epidermis des Blüthenstieles von *Hyacinthus orientalis.*

Wassergehalt = 85%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 100 Millimeter. Breite = 4·5 Millimeter.

Bei	7·6	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von 5·—	Mm.
„	15	„	„	„	„	„	„ 2·—	„
„	25	„	„	„	„	„	„ 1·—	„
„	30	„	„	„	„	„	„ 1·5	„
„	35	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	45	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	50	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	53	„	„	„	„	„	„ 0·5	„
„	53·253	„	riss der Streifen.					

Totalbelastung = 0·053253 Kilogr. Verlängerung = 11·5 Mm.

Der Querschnitt der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·061 Quadratmillimeter; hieraus berechnet sich $F = 0·873$ Kilogramm und bei einer Elasticitätsgrenze von 0·007564 Kilogramm, $T = 0·124$ Kilogramm, ferner $E = 8·75$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 115 auf 1000.

2. Versuch.

Ein Streifen von derselben Epidermis derselben Länge und demselben Wassergehalte lieferte folgende Werthe: $F = 0·875$ Kilogramm, $T = 0·126$ Kilogramm, $E = 8·97$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 117 auf 1000. Ein

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. Versuch

ergab für einen Streifen von derselben Länge und einem Querschnitt der Epidermiszellen von 0·065 Quadratmillimeter, $F =$ 0·881 Kilogramm, $T = 0{\cdot}131$ Kilogramm, $E = 9{\cdot}12$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 113 auf 1000.

Es berechnet sich demgemäss für die hintere Epidermis des Blüthenstieles von Hyacinthus ein Festigkeitsmodul von 0·876 Kilogramm, ein Tragmodul von 0·127 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 8·946 Kilogramm - Millimeter und eine Verlängerung von 115 auf 1000.

Es geht also schon aus diesen zwei Versuchsreihen hervor, dass in der That die vordere Epidermis andere Festigkeits- und Elasticitätsverhältnisse zeigt, als die hintere, in der Weise, dass die Festigkeit der vorderen Oberhaut grösser, die Elasticität aber kleiner ist als an der Epidermis der Rückseite des Blattes.

III. Vordere Epidermis des Blüthenstieles von *Tulipa praecox*

bei einem Wassergehalte von 80%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 56 Millimeter. Breite = 4·5 Millimeter.

Bei	7·6 Gramm	Belastung erfolgte eine Verlängerung von 1·5 Mm.
„	25 „	„ „ „ „ „ „ 1·— „
„	35 „	„ „ „ „ „ „ 0·5 „
„	45 „	„ „ „ „ „ „ 0·5 „
„	55 „	„ „ „ „ „ „ 0·5 „
„	65 „	„ „ „ „ „ „ 0·— „
„	69·36 „	riss der Streifen entzwei.

Totalbelastung = 0·06936 Kilogr. Verlängerung = 4 Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·034 Quadratmillimeter; woraus sich $F = 2{\cdot}04$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}72$ Kilogramm, $E = 25{\cdot}68$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 71·3 auf 1000 berechnen. Der

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch.

Mit einem Streifen von derselben Länge und demselben Wassergehalte ergab $F = 2{\cdot}03$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}74$ Kilogramm, $E = 25{\cdot}7$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 72·1 auf 1000. Der

3. Versuch

lieferte folgende Resultate: $F = 2{\cdot}004$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}73$ Kilogramm, $E = 25{\cdot}72$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 71·5 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen Bestimmungen ergibt demnach für die vordere Epidermis des Blüthenstieles von *Tulipa praecox* ein Festigkeitsmodul von 2·024 Kilogramm, ein Tragmodul von 1·73 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 25·36 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 71·5 auf 1000.

IV. Hintere Epidermis des Blüthenstieles von *Tulipa praecox*

bei einem Wassergehalte von 80%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 64 Millimeter. Breite = 5 Millimeter.

Bei	7·6	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	3·5 Mm.
„	21·5	„	„	„	„	„	1·5	„
„	30	„	„	„	„	„	1·—	„
„	35	„	„	„	„	„	1·—	„
„	40	„	„	„	„	„	1·—	„
„	42	„	„	„	„	„	0·5	„
„	42·441	„	zerriss der Streifen.					

Totalbelastung = 0·042441 Kilogr. Verlängerung = 8·5 Mm.

Die Querschnittsfläche der Epidermiszellen betrug in wahrer Grösse 0·043 Quadratmillimeter. Es berechnet sich desshalb $F = 0{\cdot}987$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}322$ Kilogramm, $E = 8{\cdot}25$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 120·4 auf 1000.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch.

Ein Streifen von derselben Epidermis derselben Länge und demselben Wassergehalte zeigte in $F = 1{\cdot}004$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}41$ Kilogramm, $E = 8{\cdot}78$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 120·23 auf 1000. Der

3. Versuch

ergab folgende Werthe: $F = 0{\cdot}98$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}34$ Kilogramm, $E = 8{\cdot}37$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 121·07 auf 1000.

Es berechnet sich demnach für die hintere Epidermis des Blüthenstieles von *Tulipa praecox* in $F = 1$ Kilogramm, $T = 0{\cdot}384$ Kilogramm, $E = 8{\cdot}46$ Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 120·83 auf 1000.

Auch diese Versuchsreihe bestätigt die früher ausgesprochene Thatsache, dass die Epidermis heliotropisch gekrümmter Organe an der Lichtseite andere Elasticitäts- und Festigkeitsverhältnisse darbietet, als an der Schattenseite des Blattes. Während also die Epidermis der Lichtseite bei Hyacinthus ein Festigkeitsmodul von 2·126 Kilogramm und ein Elasticitätsmodul von 24·213 Kilogramm-Millimetern zeigte, fand ich an der Epidermis der Schattenseite einen kleineren Festigkeitsmodul, nämlich 0·876 Kilogramm, während die Elasticität bedeutend grösser sich herausstellte; der Elasticitätsmodulus betrug nämlich nur mehr 8·946 Kilogramm-Millimeter. Aus den Versuchen mit der Epidermis des Blüthenstieles von *Tulipa praecox* geht, wie schon erwähnt, dasselbe hervor.

Diese Versuche mit der Oberhaut positiv heliotropischer Organe ergeben demnach das Resultat, dass die Epidermis der Lichtseite eine grössere Festigkeit, aber eine kleinere Elasticität besitzt, als die Oberhaut der Schattenseite; diese vielmehr zeigt eine grössere Elasticität, aber eine geringere Festigkeit.

Aus diesen Versuchen ergibt sich nun, dass unter dem Einflusse des Lichtes die genannten Blüthenstiele eine Krümmung nach dem Lichte hin annehmen müssen, selbst unter der Voraus-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

setzung, dass der Druck, den die spannenden Gewebe auf der Oberhaut ausüben, ein gleicher wäre.

Ob indess hierdurch der positive Heliotropismus eine Erklärung findet, oder ob auf diese Weise eine Verstärkung des positiven Heliotropismus zu Stande kommt, müssen noch fernere Versuche entscheiden.

Da die Elasticität der Epidermis an der Vorderseite des Blüthenstieles eine geringere ist als an der Rückseite, und in der Festigkeit das Umgekehrte sich ergeben hat, so darf mit Rücksicht auf die früher mitgetheilten Versuche geschlossen werden, dass die vordere Epidermis wasserärmer ist, als die hintere, was in diesen Fällen wohl als eine Wirkung des Lichtes wird angesehen werden müssen.

3. Antheil der Epidermis an der Festigkeit des ganzen Blattes.

Bei den im ersten Capitel mitgetheilten Versuchen über die Festigkeit und Elasticität der Blätter von *Hyacinthus*, *Allium* und *Tulipa* ist schon bemerkt worden, dass der Querschnitt nur einen sehr schwach entwickelten Bast erkennen liess, dass überhaupt die Elemente des specifisch-mechanischen Systems nur eine sehr geringe Festigkeit zeigten. Und dennoch stellte sich eine im Vergleiche zu den übrigen untersuchten Blättern ziemlich grosse Festigkeit des ganzen Blattes heraus.

Diese anscheinend widersinnige und merkwürdige Thatsache glaube ich durch die vorhergegangenen Versuche mit der Epidermis der genannten Pflanzentheile erklären zu können und schliesse desshalb die diesbezüglichen Bemerkungen darüber hier an.

Um aber nicht immer auf die in beiden Abschnitten zerstreuten Versuche hinweisen zu müssen, stelle ich im Folgenden die Resultate zusammen, welche ich am ganzen Blatte jedoch nur mit Berücksichtigung der Querschnittsfläche des Bastes, und welche ich an der Epidermis desselben Organes gefunden habe, aus denen sowohl der Unterschied in der Festigkeit und Elasticität, als auch der Antheil der Epidermis an der Herstellung der Festigkeit des Blattes ersichtlich werden wird.

Tabelle III.

Name	Wassergehalt in Procenten	Blatt sammt beiden Epidermen[1]		Obere Epidermis		Untere Epidermis		Mittel aus beiden Epidermen	
		T.	F.	T.	F.	T.	F.	T.	F.
Hyacinthus orientalis.	90	12·27	16·27	0·1035	0·167	0·16	0·23	0·1317	0·1985
„ „ .	25	17·54	20·027	0·65	1·08	0·82	1·145	0·735	1·112
Allium Porrum.....	82	14·71	17·6	0·835	1·4625	1·03	1·78	0·931	1·621
„ „	25	17·27	21·4	1·24	2·125	1·075	2·255	1·157	2·195
Allium cepa.....	80	12·9	17·85	0·167	0·826	0·783	1·413	0·475	0·6195
„ „	27	16·16	20·8	0·87	1·693	0·93	1·8	0·9	1·746
Tulipa praecox	85	11·3	15·72	0·2103	0·845	0·5	1·123	0·16	0·434
„ „	26	15·88	19·886	1·083	1·872	1 23	1·89	1·16	1·881

[1] Bei den in dieser Rubrik angegebenen Werthen ist aber nur der Querschnitt des Bastes in Rechnung gezogen worden.

MARINE BIOLOGICAL LABORATORY WOODS HOLL MASS.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Aus dieser Zusammenstellung geht schon hervor, dass die Epidermis einen nicht unbedeutenden Antheil an der Festigkeit des betreffenden Blattes haben muss.

Den klarsten Beweis von der Richtigkeit dieser Voraussetzung gaben jedoch mehrere Versuche, welche ich mit den Blättern von *Allium Porrum* und *Tulipa praecox* anstellte, die von beiden Epidermen befreit, also in der That nur der Bast auf die Festigkeit einen Einfluss hatte.

I. Blatt von *Allium Porrum* ohne Epidermen.

Wassergehalt = 87%.

1. Versuch.

Länge des Streifens = 104 Millimeter. Breite = 14·5 Millimeter.

Bei	20	Gramm	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	1·5 Mm.
„	40	„	„	„	„	„	0·5	„
„	50	„	„	„	„	„	0·5	„
„	60	„	„	„	„	„	0·5	„
„	80	„	„	„	„	„	0·5	„
„	90	„	„	„	„	„	0·—	„
„	100	„	„	„	„	„	0·5	„
„	110	„	„	„	„	„	0·—	„
„	120	„	„	„	„	„	0·5	„
„	140	„	„	„	„	„	0·—	„
„	147·18	„	riss der Streifen entzwei.					

Totalbelastung = 0·14718 Kilogr. Verlängerung = 4·5 Mm.

Als Querschnitt der mechanischen Zellen wurden auch hier nur die Bastzellen in Rechnung gezogen, weil die zartwandigen schwachen Parenchymzellen ohne Fehler vernachlässigt werden können. Die Querschnittsfläche des Bastes betrug 0·021 Quadratmillimeter, woraus sich ein Festigkeitsmodul von 6·73 Kilogramm und ein Tragmodul von 5·84 Kilogramm berechnen bei einer Elasticitätsgrenze von 0·037 Kilogramm.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch.

Ein Streifen von derselben Länge und ebenfalls ohne die beiden Oberhäute zerriss bei einem Gewichte von 0·128 Kilogramm. Die Querschnittsfläche des Bastes berechnete sich auf 0·019 Quadratmillimeter, weshalb sich die folgenden Werthe ergeben: Ein Festigkeitsmodul von 6·71 Kilogramm und ein Tragmodul von 5·4 Kilogramm.

3. Versuch.

Auch in diesem Versuche zeigten sich ähnliche Resultate: ein Festigkeitsmodul von 6·73 Kilogramm und ein Tragmodul von 5·27 Kilogramm.

Das arithmetische Mittel aus diesen Versuchen ergibt demnach für das frische Blatt von *Allium Porrum* jedoch ohne die beiden Epidermen nur ein Festigkeitsmodul von 6·723 Kilogramm und ein Tragmodul von 5·34 Kilogramm.

Ich habe ferner auch mit dem trockenen Blattriemen ohne die Epidermen Versuche angestellt, und diese ergaben folgende Resultate: Bei einem Zerreissgewichte von 0·2536 Kilogramm berechnete sich für einen Riemen von der Länge von 110 Millimeter und einer Querschnittsfläche des Bastes von 0·022 Quadratmillimeter, ein Festigkeitsmodul von 11·5 Kilogramm und ein Tragmodul von 10·3 Kilogramm, also ebenfalls wieder im trockenen Zustande eine grössere Festigkeit, aber bedeutend kleiner im Vergleiche zu dem Streifen mit beiden Epidermen. Eine weitere Versuchsreihe mit den Blättern von *Tulipa praecox* zeigte Ähnliches:

II. Blatt von ***Tulipa praecox*** ohne die beiden Epidermen.
Wassergehalt = 85%.

1. Versuch.

Die Querschnittsfläche des Bastes betrug für einen Riemen von 98 Millimetern Länge, welcher bei einer Belastung von 0·5462 Kilogramm zerriss 0·042 Quadrat-Millimeter, wesshalb sich ein Festigkeitsmodul von 13·1 Kilogramm und ein Tragmodul von 9·87 Kilogramm berechnen. Ein

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch

mit einem Streifen derselben Länge und desselben Blattes zeigte bei einem Querschnitte des Bastes von 0·035 Quadratmillimeter und einem Zerreissgewichte von 0·469 Kilogramm ein Festigkeitsmodul von 13·42 Kilogramm und ein Tragmodul von 10·51 bei einer Elasticitätsgrenze von 0·367 Kilogramm. Der

3. Versuch

ergab folgende Resultate: für einen Riemen von derselben Länge und demselben Blatte. Bei einem Zerreissgewichte von 0·473 Kilogramm ein Festigkeitsmodul von 13·37 und ein Tragmodul von 10·19 Kilogramm.

Das Mittel aus diesen drei Bestimmungen ergibt demgemäss für das frische Blatt von *Tulipa praecox* jedoch ohne die beiden Oberhäute ebenfalls nur ein Festigkeitsmodul von 13·37 Kilogramm und ein Tragmodul von 10·19 Kilogramm.

Auch die Versuche mit dem trockenen Riemen desselben Blattes, welche früher von den beiden Epidermen befreit wurden, ergaben viel kleinere Werthe für die absolute Festigkeit und das Tragvermögen, als es bei den Riemen der Fall war, welche mit den beiden Oberhäuten belastet wurden.

Der trockene Riemen von *Tulipa praecox* lieferte folgende Resultate:

1. Versuch.

Ein Riemen von 85 Millimetern Länge und einer Querschnittsfläche des Bastes von 0·072 Quadratmillimetern ergab bei einem Zerreissgewichte von 1·252 Kilogramm, ein Festigkeitsmodul von 17·53 Kilogramm und ein Tragmodul von 14·45 Kilogramm, bei einer Elasticitätsgrenze von 1·040 Kilogramm.

2. Versuch.

Mit einem Streifen desselben Blattes zeigte sich bei einer Querschnittsfläche des Bastes von 0·071 Quadratmillimetern und einem Zerreissgewichte von 1·268 Kilogramm, ein Festigkeitsmodul von 17·86 Kilogramm und ein Tragmodul von 14·47 Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 1·012 Kilogramm.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Das Mittel aus diesen Versuchen genommen, gibt demnach auch für das trockene epidermislose Blatt von *Tulipa praecox* kleinere Werthe für die Festigkeit, und zwar ein Festigkeitsmodul von 17·695 Kilogramm und ein Tragmodul von 14·46 Kilogramm.

Diese Versuche zeigen nun ganz deutlich, dass die Festigkeit des Blattes ohne Epidermis kleiner ausfällt, als wenn beide Oberhäute vorhanden sind; es geht also daraus hervor, dass die Epidermis bei der Bestimmung der Festigkeit des ganzen Blattes ebenfalls in Rechnung zu ziehen, und in diesen Fällen auch dem mechanischen Systeme des Blattes zuzurechnen ist.

Bezeichnet P das Zerreissgewicht, bezogen auf den ganzen Querschnitt des Blattes respective auf den Querschnitt des Bastes und der beiden Oberhäute, so ist der Festigkeitsmodul $F = \frac{P}{Q}$, worin Q aber $= q_b + q_o + q_u$ ist, wenn q_b den Querschnitt des Bastes q_o die Querschnittsfläche der Epidermiszellen der Oberseite und q_u die der Unterseite des Blattes bezeichnen. Der unter der Rubrik „Blatt“ [1] angegebene Festigkeitsmodul F ist aber nach dem Vorhergesagten nicht der wahre Modulus der Festigkeit, denn er wurde nicht nach dem ganzen Querschnitte Q des Blattes, sondern nur nach dem Querschnitte q_b des Bastes berechnet; ich bezeichne ihn desshalb in der Folge mit f_b. — Dieses $f_b = \frac{P}{q_b}$ kann aber nur dann gleich F werden, wenn der Nenner noch um $q_o + q^u$ vermehrt, der Bruch aber seinem Werthe nach verkleinert wird, d. h. es ist in den ersten Versuchen mit den Blättern von *Allium*, *Hyacinthus* und der *Tulpe* der Festigkeitsmodul zu gross berechnet worden, und es müssen zu dem Querschnitte des Bastes noch die der beiden Oberhäute hinzugerechnet werden, indem das Zerreissgewicht P in beiden Fällen dasselbe geblieben ist. Es berechnen sich desshalb die corrigirten Werthe in folgender Weise:

---

[1] Vergleiche Tabelle III (pag. 57).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

I. Für das Blatt von ***Hyacinthus orientalis*** bei dem Wassergehalte von 90%

Quadratmillimeter

Die Fläche des Querschnittes des Bastes betrug $q_b = 0{\cdot}09$
„ „ „ „ der oberen Epidermiszellen $q_o = 0{\cdot}6$
„ „ „ „ „ unteren „ $q_u = 0{\cdot}415$

desshalb beträgt der effectiv belastete Querschnitt $Q = 1{\cdot}105$

hieraus berechnet sich bei einem Zerreissgewichte $P = 1{\cdot}5$ Kilogramm für das ganze Blatt ein Festigkeitsmodul von 1·3 Kilogramm und ein Tragmodul von 1·002 Kilogramm, welche Werthe allerdings kleiner sind, aber den wahren Werthen gewiss näher kommen.

II. Für das Blatt von ***Hyacinthus orientalis*** bei 25% Wasser

berechnet sich der corrigirte Querschnitt Q auf 0·494 Quadratmillimeter, indem $q_b = 0{\cdot}113$ Quadratmillimeter, $q_o = 0{\cdot}191$ Quadratmillimeter und $q_u = 0{\cdot}19$ Quadratmillimeter betrug. Hieraus ergibt sich bei einem Zerreissgewichte von 2·21 Kilogramm ein Festigkeitsmodul von 4·4 Kilogramm und ein Tragmodul von 3·7 Kilogramm, bei einer Elasticitätsgrenze von 1·932 Quadratmillimeter.

III. Das Blatt von ***Allium Porrum*** bei 87% Wasser

zeigte einen belasteten Querschnitt Q von 0·133 Quadratmillimeter, wobei $q_b = 0{\cdot}025$ Quadrat-Millimeter, $q_o = 0{\cdot}037$ Quadratmillimeter und $q_u = 0{\cdot}071$ Quadratmillimeter betrugen. Der Festigkeitsmodul ist desshalb 3·4 Kilogramm und der Tragmodul = 2·65 Kilogramm, wenn der Riemen bei einem Gewichte von 0·45 Kilogramm zerriss.

IV. Das Blatt ***Allium Porrum*** bei 25% Wasser.

Der effectiv belastete Querschnitt Q berechnete sich aus $q_b = 0{\cdot}071$ Quadratmillimeter, $q_o = 0{\cdot}076$ Quadratmillimeter und $q_u = 0{\cdot}115$ Quadratmillimeter auf 0·293 Quadratmillimeter;

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

hieraus ergibt sich ein Festigkeitsmodul von 5·21 Kilogramm und ein Tragmodul von 4·24 Kilogramm, bei einem Zerreissgewichte von 1·542 Kilogramm und einer Elasticitätsgrenze von 1·23 Kilogramm.

V. Blatt von *Allium cepa* bei 85% Wasser.

Ein Riemen aus der Mitte des Blattes von 108 Millimeter Länge riss bei einem Gewichte von 1·396 Kilogramm entzwei. Die Querschnittsfläche desselben Q berechnete sich auf 0·4005 Quadratmillimeter, indem die Fläche des Bastes $q_b = 0·0815$ Quadratmillimeter, der der oberen Epidermiszellen $q_o = 0·152$ Quadratmillimeter und die der unteren $q_u = 0·167$ Quadratmillimeter.

Es ergibt sich demnach ein Festigkeitsmodul von 3·47 Kilogramm und ein Tragmodul von 2·5 Kilogramm.

VI. Blatt von *Allium cepa* Wassergehalt = 27%.

Das Zerreissgewicht für einen Riemen aus der Mitte des Blattes und von 97 Millimeter Länge betrug 1·612 Kilogramm. Die belastete Querschnittsfläche $Q = 0·251$ Quadratmillimeter, die Fläche des Bastes $q_b = 0·075$ Quadratmillimeter, $q_o = 0·034$ Quadratmillimeter und $q_u = 0·142$ Quadratmillimeter. Es berechnet sich desshalb ein Festigkeitsmodul von 6·42 Kilogramm und ein Tragmodul von 4·08 Kilogramm.

VII. Blatt von *Tulipa praecox* bei 85% Wasser.

Ein Riemen aus der Mitte des Blattes von 110 Millimeter Länge zerriss bei 1·433 Kilogramm entzwei. Der Querschnitt zeigte eine Fläche für den Bast von 0·089 Quadratmillimeter, für die oberen Epidermiszellen $q_o = 0·154$ Quadratmillimeter und für die unteren $q_u = 0·036$ Quadratmillimeter. Der Festigkeitsmodul beträgt somit 5·13 Kilogramm und der Tragmodul = 3·6 Kilogramm.

VII. Blatt von *Tulipa praecox* bei 26% Wasser.

Das Zerreissgewicht für einen Riemen aus der Mitte des Blattes betrug 1·56 Kilogramm. Der Querschnitt des Bastes

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

$q_b = 0{\cdot}078$ Quadratmillimeter, $q_o = 0{\cdot}75$ Quadratmillimeter und $q_u = 0{\cdot}063$ Quadratmillimeter, desshalb der eigentliche belastete Querschnitt sich auf 0·216 Quadratmillimeter berechnet. Es ergibt sich somit ein Festigkeitsmodul von 7·2 Kilogramm und ein Tragmodul = 5·66 Kilogramm, bei einer Elasticitätsgrenze von 1·225 Kilogramm.

Da nun nach der Lehre von der absoluten Festigkeit der Festigkeits-, beziehungsweise der Tragmodul einer Verbindung von mehreren materiell verschiedenen Stäben gleich ist dem Mittel aus der Summe der Moduli der einzelnen Stäbe, so wird in unserem gegebenen Falle der Festigkeitsmodul der Verbindung von drei in der Festigkeit verschiedenen Geweben (obere Epidermis, Bast untere Epidermis), wenn diese in der Längsrichtung gespannt werden, gleich sein müssen dem Mittel aus der Summe der Festigkeitsmasse der einzelnen Gewebe.

Es ist also $F = {}^1/_3\ (f_b + f_o + f_u)$ wenn f_b den Festigkeitsmodul des Bastes, f_o den der oberen Epidermis und f_u den der unteren Epidermis vorstellen. Nachdem hier drei Grössen bekannt sind, so lässt sich f_b aus dieser Gleichung bestimmen $f_b = 3\ F - (f_o + f_u)$. Interessant ist jedoch die Thatsache, dass die durch Rechnung gefundenen Werthe für f_b mit den durch das Experiment erhaltenen übereinstimmen, und zwar gilt dies für den Festigkeits- wie für den Tragmodul des Bastes von dem Blatte von *Allium Porrum* und *Tulipa praecox*.

Für ***Allium Porrum*** bei 87% Wasser

berechnet sich also das f_b auf folgende Weise:

Nach dem Versuche III, (pag. 62) ist $F = 3{\cdot}4$ Kilogramm,
„ Tabelle II, (pag. 49) ist $f_o = 1{\cdot}4625$ „
„ „ „ „ „ ist $f_u = 1{\cdot}78$ „

daher ist $f_b = 10{\cdot}2 - 3{\cdot}2425 = 6{\cdot}9575$ Kilogramm, auf dieselbe Weise der Tragmodul t_b des Bastes bestimmt, ergibt sich $t_b = 3\ T - (t_o + t_u)$, nach Substitution der gefundenen Werthe erhält man $t_b = 6{\cdot}05$ Kilogramm.

Vergleicht man nun diese durch Rechnung gefundenen Resultate mit denjenigen, welche in dem Versuche I, 1 (pag. 58), experimentell bestimmt wurden, so zeigt sich bis auf einige Deci-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

malstellen eine vollständige Gleichheit, welche für die Richtigkeit der Bestimmung zu sprechen scheint.

Für das Blatt von *Tulipa praecox* bei 85% Wasser

berechnet sich der Festigkeitsmodul des Bastes in derselben Weise. Nach Versuch VII (pag. 63), ist $F = 5{\cdot}13$ Kilogramm und $T = 3{\cdot}6$ Kilogramm; aus der Tabelle II (pag. 49) ist $f_o = 0{\cdot}845$ Kilogramm, $f_u = 1{\cdot}123$ Kilogramm; und $t_o = 0{\cdot}2103$ Kilogramm, $t_u = 0{\cdot}5$ Kilogramm. Es ergibt sich desshalb für den Festigkeitsmodul des Bastes $f_b = 13{\cdot}422$ Kilogramm und für den Tragmodul des Bastes $t_b = 10{\cdot}09$ Kilogramm. Diese Resultate, wieder verglichen mit den durch das Experiment im Versuche (II, 2 pag. 60) erhaltenen zeigen abermals eine Übereinstimmung bis auf eine kleine Differenz, welche offenbar in Beobachtungsfehlern liegt.

Nachdem ich aber ausser diesen zwei Versuchen keine anderen mehr mit Blättern ohne Epidermis angestellt habe, so halte ich es für überflüssig, die Berechnung des Festigkeits- und Tragmoduls des Bastes der übrigen Blätter hier durchzuführen, sondern gebe bloss die durch Rechnung gefundenen Werthe, welche den zwei Versuchen zu Folge auch als richtig angesehen werden können, in der folgenden Tabelle, Seite 66, an.

Aus dieser Tabelle wird nun ersichtlich, dass die Werthe für den Festigkeits- und Tragmodul des Blattes, wenn nebst dem Bast auch noch die Querschnittsfläche der Epidermiszellen zum belasteten Querschnitt gerechnet werden, allerdings kleiner ausfallen als in dem Falle, wo nur der Bast allein in Rechnung gezogen wurde, die beiden Oberhäute aber dennoch am Blatte vorhanden waren. Allein die gefundenen Resultate stehen, wie ich schon früher gezeigt habe, dem wahren Werthe gemäss näher, wie sich überdies aus den übereinstimmenden Resultaten des Festigkeitsmoduls des Bastes durch Rechnung mit den Werthen, die experimentell gefunden wurden, schon annehmen lässt. Diese Versuche aber führten mich auch zu der Vermuthung, ob nicht in denjenigen Fällen, wo die specifisch-mechanischen Zellen in ihrer Entwickelung mehr oder weniger zurückgeblieben, also eine nur geringe mechanische Leistung zu vollführen im Stande sind, dann auch die Zellen der

Zusammenstellung der nach Berücksichtigung des Querschnittes und des Festigkeitsmoduls der Epidermis corrigirten Werthe für den Festigkeits- und Tragmodul des Blattes und des Bastes.

Tabelle IV.

Name	Wassergehalt in Procenten	Blatt mit dem Querschnitt $q_b + q_o + q_u$		t_b	f_b
		T.	F.		
Hyacinthus orientalis	90	1·002 Kilogramm	1·3 Kilogramm	2·503 Kilogramm	3·50 Kilogramm
„ „	25	3·7 „	4·4 „	8·524 „	9·52 „
Allium Porrum	82	2·65 „	3·4 „	5·34 „	6·723 „
„ „	25	4·24 „	5·21 „	10·3 „	11·5 „
Allium cepa	85	2·5 „	3·47 „	5·44 „	8·17 „
„ „	27	4·08 „	6·42 „	10·44 „	15·7 „
Tulipa praecox	85	3·6 „	5·13 „	10·01 „	13·42 „
„ „	26	5·66 „	7·2 „	14·48 „	17·84 „

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Epidermis gewissermassen einen Theil der Function der ersteren übernehmen und somit auch dem mechanischen Systeme der Pflanze unter Umständen zugezählt werden müssen.

Durch die in diesem Abschnitte vorgeführten Versuche dürfte diese Vermuthung gewiss gestützt werden.

III. Capitel.

Versuche über die Frage, ob die Unterschiede in der Festigkeit und Elasticität lebender und todter (trockener) Gewebe nur durch den verschiedenen Wassergehalt oder auch durch eine verschiedene in der Organisation der lebenden Pflanzentheile liegenden Molecularstructur der mechanischen Zellen hervorgerufen werden.

Nachdem ich in den vorhergegangenen Abschnitten gezeigt habe, dass trockene vegetabilische Gewebe eine grössere Festigkeit besitzen als frische noch lebende, aber eine geringere Elasticität erkennen lassen, so drängt sich unwillkürlich die Frage auf, ob dieser Unterschied, der unter Umständen ein sehr bedeutender sein kann, nur durch den jeweiligen Wassergehalt hervorgerufen werde, oder ob nicht vielleicht durch eine verschiedene moleculare Structur der mechanischen Zellen im todten Zustande diese Differenz in der Festigkeit der lebenden und todten Gewebe bedingt werde.

So interessant und beziehungsreich diese Frage ist, so sind bisher noch keine Versuche darüber angestellt worden. Schwendener[1] deutet nur auf eine Verschiedenheit in der Cohäsion zwischen dem todten und lebenden Bast hin, ohne jedoch auf diesen Gegenstand näher einzugehen und denselben zu verfolgen.

In diesem Abschnitte habe ich es unternommen, einige Versuche mitzutheilen, welche ich über diese erwähnte Frage aus-

---

[1] l. c. pag. 14.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

geführt habe, nebst einigen damit im Zusammenhange stehenden Bemerkungen über die genauere Beziehung des Wassergehaltes zur Festigkeit gewisser Organe.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt.

Es wurde eine grössere Anzahl von gleich breiten und gleich langen Riemen aus der Mitte eines Blattes geschnitten und 4—5 sogleich zum Versuche verwendet. Mit den übrigen wurde die Wassergehalt-Bestimmung gemacht.

Nachdem nun durch Austrocknen an der Luft der Wassergehalt bis auf 15%, beziehungsweise 25% erniedrigt wurde, machte ich mit einigen Riemen neuerdings Bestimmungen, gab die Fragmente der Riemen wieder zu den übrigen hinzu und legte hierauf alle Blattstreifen in reines Wasser, worin sie so lange verblieben, bis das ursprüngliche Gewicht und somit auch der ursprüngliche Wassergehalt wieder hergestellt war.

Dann machte ich neuerdings Festigkeits- und Elasticitätsversuche mit dem Riemen und konnte demnach beurtheilen, ob nach erfolgter Wasseraufnahme des todten Riemens die Festigkeit und Elasticität dieselben Werthe lieferte wie am frischen noch lebenden Pflanzentheile oder nicht.

Zu den Versuchen wählte ich nur jene Blätter, welche ich schon im frischen, noch lebenden und im todten Zustande auf ihre Festigkeit geprüft hatte. Es sind demnach im Folgenden nur diejenigen Versuche mitgetheilt, welche ich mit den neuerdings auf den ursprünglichen Wassergehalt reducirten Blattriemen angestellt habe, weil die Versuche mit dem lebenden und todten Blatte schon im ersten Capitel angeführt sind; ich verweise desshalb nur auf dieselben.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

I. Blatt von *Dracaena indivisa* Forst.

1. Versuch.

Mit einem Riemen aus der Mitte des Blattes, der nach Austrocknung bis auf 15% wieder auf 40% Wassergehalt gebracht wurde.

Länge des Riemens = 253 Millimeter.

Bei 1 Kilogr. Belastung erfolgte eine Verlängerung von 1·5 Mm.
„ 4 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 6 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 8 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 10 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 12 „ „ „ „ „ „ 0·5 „
„ 12·5 „ „ „ „ „ „ 0·— „
„ 12·543 „ riss der Streifen entzwei.

Totalbelastung = 12·543 Kilogr. Verlängerung = 4 Mm.

Der Querschnitt der specifisch-mechanischen Zellen betrug 0·542 Quadratmillimeter, woraus sich folgende Werthe berechnen. Ein Festigkeitsmodul von 23·12 Kilogramm, und bei einer Elasticitätsgrenze von 10·33 Kilogramm, ein Tragmodul von 18·95 Kilogramm, der Elasticitätsmodul berechnet sich auf 1450 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 15·7 auf 1000.

2. Versuch.

Ein Blattriemen von derselben Länge und der auf dieselbe Weise behandelt wurde, zeigte einen Querschnitt der mechanischen Zellen von 0·471 Quadratmillimeter und zerriss bei einem Gewichte von 10·913 Kilogramm; daher beträgt der Festigkeitsmodul 23·22 Kilogramm, der Tragmodul = 18·75 Kilogramm, bei der Elasticitätsgrenze von 8·789 Kilogramm, der Elasticitätsmodul aber 144·95 Kilogramm - Millimeter bei einer Verlängerung von 15·65 auf 1000. Der

3. Versuch

ergab für einen Riemen derselben Länge und desselben Blattes bei einem Querschnitt des Bastes von 0·61 Quadratmillimeter und einem Zerreissgewichte von 14·1215 Kilogramm, ein Festigkeitsmodul von 23·15 Kilogramm, ein Tragmodul von 18·82 Kilo-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

gramm bei einer Elasticitätsgrenze von 11·48, ferner einen Elasticitätsmodul von 1450·2 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 15·72 auf 1000.

Das arithmetische Mittel aus diesen 3 Versuchen genommen, ergibt desshalb für den nach Austrocknung wieder auf 40% Wasser erhöhten Riemen des Blattes von Dracaena ein Festigkeitsmodul von 23·163 Kilogramm, ein Tragmodul = 18·173 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 1449·9 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 15·69 auf 1000.

II. Blatt von *Dasylirion longifolium.*

Riemen aus der Mitte des Blattes nach Austrocknung bis auf 10% wieder auf 45% Wasser erhöht.

1. Versuch.

Länge des Riemens = 315 Millimeter.

Bei	1	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von 1·—	Mm.
„	3	„	„	„	„	„	1·—	„
„	5	„	„	„	„	„	0·5	„
„	7	„	„	„	„	„	0·5	„
„	9	„	„	„	„	„	0·5	„
„	10	„	„	„	„	„	0·5	„
„	11	„	„	„	„	„	0·5	„
„	11·07	„	„	„	„	„	0·—	„
„	11·0764	„	zerriss der Riemen.					

Totalbelastung = 11·0764 Kilogr. Verlängerung = 4·5 Mm.

Die Querschnittsfläche des Bastes betrug in wahrer Grösse 0·496 Quadratmillimeter. Es berechnet sich daher ein Festigkeitsmodul von 22·32 Kilogramm, ein Tragmodul 19·57 Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 10·17 Kilogramm, ferner ein Elasticitätsmodul von 198·55 Kilogramm-Millimeter bei einer Verlängerung von 11·11 auf 1000.

2. Versuch.

Mit einem Riemen derselben Länge und bei demselben Wassergehalte zeigten sich folgende Resultate: Ein Festigkeitsmodul von 22·3 Kilogramm, ein Tragmodul von 19·56 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 1985 Kilogramm und eine Verlängerung von 11·1 auf 1000.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. Versuch.

Ein Blattriemen von derselben Länge ergab ein Festigkeitsmodul von 22·32 Kilogramm, ein Tragmodul 19·58 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 1985·2 und eine Verlängerung von 11·13 auf 1000.

Das Mittel aus diesen Bestimmungen ergibt demnach für den nach Austrocknung wieder auf 45% Wasser reducirten Blattriemen von *Dasylirion longifolium* ein Festigkeitsmodul von 22·313 Kilogramm, ein Tragmodul von 19·59 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 1985·23 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 11·13 auf 1000.

III. Blatt von *Phormium tenax*.

Nach Austrocknen bis auf 13% wieder auf 45% Wasser erhöht.

1. Versuch.

Länge des Riemens = 240 Millimeter.

Bei	1	Kilogr.	Belastung	erfolgte	eine	Verlängerung	von	0·5 Mm.
„	3	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	5	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	7	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	9	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	11	„	„	„	„	„	„	0·5 „
„	11·5	„	„	„	„	„	„	0·— „
„	11·716	„	riss der Riemen entzwei.					

Totalbelastung = 11·716 Kilogr. Verlängerung = 3 Mm.

Die Querschnittsfläche der mechanischen Zellen berechnete sich auf 0·451 Quadratmillimeter. Daher beträgt der Festigkeitsmodul 25·98 Kilogramm, der Tragmodul 21·78 Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 8·46978 Kilogramm, ferner der Elasticitätsmodul 1943·5 und die Verlängerung auf 1000, 12·5.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Versuch.

Ein Blattriemen von derselben Länge und demselben Wassergehalte lieferte folgende Resultate: Ein Festigkeitsmodul 25·72 Kilogramm, ein Tragmodul = 21·68 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul = 1943·71 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 12·8 auf 1000. Der

3. Versuch,

welcher ebenfalls mit einem Blattriemen derselben Länge und bei demselben Wassergehalte angestellt wurde, zeigte folgende Resultate: Ein Festigkeitsmodul von 25·87 Kilogramm, ein Tragmodul von 21·73 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 1943·5 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 12·13 auf 1000.

Es ergibt sich demnach aus dem Mittel dieser Bestimmungen für den nach Austrocknung wieder auf 40% Wasser gebrachten Blattriemen von *Phormium tenax* ein Festigkeitsmodul von 25·856 Kilogramm, ein Tragmodul von 21·73 Kilogramm, ein Elasticitätsmodul von 1943·57 Kilogramm-Millimeter und eine Verlängerung von 12·47 auf 1000.

Um die Unterschiede zu ersehen, welche sich zwischen den hier gefundenen Resultaten und denjenigen, die am frischen und todten Blatte beobachtet wurden, in der Festigkeit und Elasticität ergeben haben, ist die folgende Tabelle zusammengestellt worden (s. S. 73).

Diese Versuche zeigen nun ganz deutlich, dass der einmal ausgetrocknete Blattriemen durch Wasseraufnahme nicht mehr seine ursprüngliche Elasticität und Festigkeit erhält, sondern dass er vielmehr eine grössere Festigkeit und Tragkraft, aber eine geringere Elasticität erkennen lässt. Diese Thatsachen ergeben demnach, dass die Unterschiede in der Festigkeit und Elasticität lebender und todter Gewebe nicht allein durch den verschiedenen Wassergehalt, sondern auch durch verschiedene dem lebenden Gewebe eigenthümliche Structurverhältnisse hervorgerufen werde, welche es eben bewirken, dass bei

Tabelle V.

Name	Festigkeits- und Elasticitätsmasze	Bei 40% Wasser	Bei 15% Wasser	Nach Austrocknung wieder auf 40% Wasser gebracht
Blatt von *Dracaena indivisa*	*T.*	17 Kilogr.	20 Kilogr.	18·173 Kilogr.
	F.	21·83 „	25·5 „	23·163 „
	E.	1213 Kilogr.-Mill.	1677·6 Kilogr.-Mill.	1449·9 Kilogr.-Mill.
	V_{1000} [1]	17 —	12 —	15·69 —
		Bei 45% Wasser	Bei 11% Wasser	Nach Austrocknung wieder auf 45% Wasser gebracht
Blatt von *Dasylirion longifolium*	*T.*	17·82 Kilogr.	23·16 Kilogr.	19·57 Kilogr.
	F.	21·6 „	26·73 „	22·313 „
	E.	1710 Kilogr.-Mill.	2436 Kilogr.-Mill.	1985·23 Kilogr.-Mill.
	V_{1000}	13·3 —	10·4 —	11·13 —
		Bei 45% Wasser	Bei 13% Wasser	Nach Austrocknung wieder auf 45% Wasser gebracht
Blatt von *Phormium tenax*	*T.*	20·33 Kilogr.	24 Kilogr.	21·73 Kilogr.
	F.	25·41 „	27 „	25·85 „
	E.	1563 Kilogr.-Mill.	2123 Kilogr.-Mill.	1943·57 Kilogr.-Mill.
	V_{1000}	13 —	11·3 —	612·13 —

[1] Bezeichnet die Verlängerung auf 1000.

MARINE BIOLOGICAL LABORATORY WOODS HOLL LIBRARY MASS.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

gleichem Wassergehalte die Festigkeit und Elasticität des todten Gewebes verschieden sind von der Festigkeit und Elasticität des frischen noch lebenden Gewebes.

Bei den Versuchen mit dem Blatte und mit der Epidermis von *Allium Porrum, Allium cepa* und *Tulipa praecox* machte ich die Beobachtung, dass nur bis zu einer gewissen Grenze die Festigkeit mit dem abnehmenden Wassergehalte zunimmt, dass sie vielmehr von da ab im beinahe ganz trockenen Zustande wieder kleiner wird.

Diese Beobachtung veranlasste mich, einige neue Versuche in der Richtung anzustellen, um zu erfahren, welche engere Beziehung zwischen dem Wassergehalte der Zellmembran und der Festigkeit des Gewebes besteht.

In den Versuchen IX –XII (pag. 19—23) mit den Blättern von *Allium Porrum, Allium cepa* und *Tulipa praecox* ergab sich bei dem grösseren Wassergehalte eine geringere, bei dem kleineren Wassergehalte aber eine grössere Festigkeit. Die Versuche, welche ich aber mit fast wasserlosen Blättern anstellte, zeigten ebenfalls auch kleinere Werthe für die Festigkeit.

I. Blatt von *Allium Porrum* bei einem Wassergehalt von 8%.

1. Versuch.

Der Versuch wurde mit einem Streifen von 120 Millimeter Länge vorgenommen, welcher bei einem Gewichte von 0·175 Kilogramm zerriss. Die Querschnittsfläche des Bastes betrug 0·028 Quadrat-Millimeter, woraus sich ein Festigkeitsmodul von 6·33 Kilogramm, ein Tragmodul von 4·78 Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 0·12584 Kilogramm berechnen.

2. Versuch.

Ein Streifen von derselben Länge und von demselben Wassergehalte ergab folgende Resultate: Ein Festigkeitsmodul von 6·2 Kilogramm und ein Tragmodul von 4·58 Kilogramm.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. Versuch

mit einem Blattriemen von demselben Wassergehalte und derselben Länge zeigte ein Festigkeitsmodul von 6·3 Kilogramm und ein Tragmodul von 4·62 Kilogramm.

Das Mittel ergibt demnach für das Blatt von *Allium Porrum* bei 8% Wasser ein Festigkeitsmodul von 6·273 Kilogramm und ein Tragmodul von 4·66 Kilogramm.

II. Blatt von ***Allium cepa*** bei 10% Wasser.

1. Versuch.

Ein Riemen von 95·5 Millimeter Länge und einer Querschnittsfläche des Bastes von 0·073 Quadrat-Millimeter ergab ein Festigkeitsmodul von 7·3 Kilogramm bei einem Zerreissgewichte von 0·556 Kilogramm und ein Tragmodul von 5·76 Kilogramm bei einer Elasticitätsgrenze von 0·42048 Kilogramm.

2. Versuch

mit einem Blattriemen von derselben Länge und demselben Wassergehalte zeigte ein Festigkeitsmodul von 7·62 Kilogramm und ein Tragmodul von 5·81 Kilogramm. Der

3. Versuch,

welcher ebenfalls mit einem gleich langen Riemen angestellt wurde, ergab folgende Werthe: Ein Festigkeitsmodul von 7·32 Kilogramm und ein Tragmodul von 5·63 Kilogramm.

Das Mittel aus diesen Bestimmungen zeigt demnach für das Blatt von *Allium cepa* bei einem Wassergehalt von nur 10%, ein Festigkeitsmodul von 7·431 Kilogramm und ein Tragmodul von 5·73 Kilogramm.

III. Blatt von ***Tulipa praecox*** bei 7% Wasser.

1. Versuch.

Für einen Riemen aus der Mitte des Blattes von 112 Millimeter Länge und einer Querschnittsfläche des Bastes von 0·64

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Quadratmillimeter, ein Festigkeitsmodul von 5·782 Kilogramm und ein Tragmodul von 3·684 Kilogramm.

2. Versuch

mit einem Riemen von derselben Länge und von demselben Wassergehalte ergab ein Festigkeitsmodul von 5·65 Kilogramm und ein Tragmodul von 3·72 Kilogramm. Der

3. Versuch

endlich zeigte folgende Resultate: Ein Festigkeitsmodul von 5·76 Kilogramm und ein Tragmodul von 3·69.

Desshalb berechnet sich aus dem Mittel dieser Versuche für das Blatt von *Tulipa praecox* bei 7% Wasser ein Festigkeitsmodul von 5·73 Kilogramm und ein Tragmodul von nur 3·698 Kilogramm.

Obgleich bei diesen Bestimmungen auf den Antheil der Epidermis an der Festigkeit nicht Rücksicht genommen wurde, so sind diese Resultate doch vergleichbar mit denjenigen, welche an den Blättern auch nur mit Berücksichtigung der Querschnittsfläche des Bastes gefunden wurden.

Die Versuche zeigen also ganz deutlich, dass bei den untersuchten Blättern im beinahe völlig wasserlosen Zustande die Festigkeit bedeutend kleiner sich herausstellte als dann, wenn das Blatt eine grössere Menge von Wasser enthält.

Diesen Resultaten zufolge muss man annehmen, dass das Maximum der absoluten Festigkeit nicht mit dem Minimum des Wassergehaltes des betreffenden Organes zusammenfällt, sondern dass wahrscheinlicher Weise die Festigkeit nur bis zu einer gewissen Grenze, welche jedoch in diesen Versuchen nicht ermittelt wurde, mit dem abnehmenden Wassergehalte wächst, dass aber im gänzlich ausgetrockneten Zustande die molecularen Structurverhältnisse andere werden, die Cohäsion und somit auch die Festigkeit geringer sich herausstellen.

Die Hauptresultate der in dieser Abhandlung mitgetheilten Untersuchungen lauten:

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

1. Die absolute Festigkeit vegetabilischer Organe (Blätter) und ihrer mechanischen Zellen ist im frischen noch lebenden Zustande geringer als im todten (trockenen), während für die Elasticität dieser Organe und Zellen das Umgekehrte gilt. In gewissen Fällen sind auch die Elemente der Oberhaut zu den mechanischen Zellen zu rechnen.

2. Es hat sich herausgestellt, dass die Elasticität und Festigkeit eines und desselben Gewebes (Oberhaut) an verschiedenen Stellen eines Organes verschiedene sein können. So wurde gezeigt, dass die Oberhaut der Zugseite der untersuchten Blätter elastischer ist als die der Druckseite und dass an der Schattenseite der Stengel sich eine grössere Elasticität als an der Lichtseite kund gibt. Diese Thatsachen wurden zur Erklärung des positiven Heliotropismus herangezogen.

3. Der Unterschied in der Festigkeit und Elasticität lebender und todter (trockener) vegetabilischer Gewebe und Organe liegt nicht allein im verschiedenen Wassergehalte, sondern auch in der verschiedenen Molecularstructur der mechanischen Zellen.

4. Die Festigkeit nimmt allerdings mit der Abnahme des Wassergehaltes des betreffenden Organes zu, jedoch nur bis zu einer bestimmten Grenze, von welcher aus die Festigkeit mit dem Wassergehalte abnimmt.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem hochgeehrten Lehrer, dem Herrn Professor Dr. Julius Wiesner für die thatkräftige Unterstützung und Anleitung bei der Durchführung dieser Arbeit meinen ergebensten Dank auszusprechen.